



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Bachelorarbeit

Alex Gindorf

Ergonomie- und Designkonzept im Rahmen einer virtuellen Flugzeugkabine unter dem Aspekt des Fliegens von Morgen

*Fakultät Technik und Informatik
Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau*

*Faculty of Engineering and Computer Science
Department of Automotive and
Aeronautical Engineering*

Alex Gindorf

**Ergonomie- und Designkonzept im
Rahmen einer virtuellen Flugzeugkabine
unter dem Aspekt des Fliegens von
Morgen**

Bachelorarbeit eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung

im Studiengang Flugzeugbau
am Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau
der Fakultät Technik und Informatik
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

in Zusammenarbeit mit:
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Systemarchitekturen in der Luftfahrt
Hein-Saß-Weg 22 c/o ZAL Tech Center
21129 Hamburg

Erstprüfer: Professor Werner Granzeier
Zweitprüfer : Dr.-Ing. Jörn Biedermann
Industrieller Betreuer: Dr.-Ing. Jörn Biedermann

Abgabedatum: 17.10.2019

Zusammenfassung

Alex Gindorf

Thema der Bachelorthesis

Ergonomie- und Designkonzept im Rahmen einer virtuellen Flugzeugkabine unter dem Aspekt des Fliegens von Morgen

Stichworte

Passagierkabine, Passagiersicherung, schultergestütztes Rückhaltesystem, PRM, Personen mit eingeschränkter Mobilität, Schwangere, Crashtest, HIC-Wert, Designprototyp, Beckengurt

Kurzzusammenfassung

Diese Arbeit umfasst die Analyse der bestehenden Sicherungssysteme für Passagiere im Flugzeug und eine Konzeptentwicklung eines neuen innovativen schultergestützten Rückhaltesystems. Dieses System wird als Nachrüstset entwickelt, um einen Eingriff in die Struktur des Flugzeuges zu vermeiden.

Hauptsächlich profitieren schwangere Frauen von diesem Konzept, da es bei einer Notlandung mehr Sicherheit für die Frau und das ungeborene Kind bietet.

Alex Gindorf

Title of the paper

Ergonomics and design concept in the context of a virtual aircraft cabin from the point of view of flying tomorrow

Keywords

Passenger cabin, passenger safety, shoulder-assisted restraint system, PRM, persons with reduced mobility, pregnant woman, crash test, HIC value, design prototype, pelvic belt

Abstract

This work includes the analysis of existing safety systems for passengers in aircraft and a concept development of a new innovative shoulder-assisted restraint system. This system is developed as a retrofit set to avoid interfering with the structure of the aircraft.

Pregnant women mainly benefit from this concept, as it provides more security for the woman and the unborn child in the event of an emergency landing.

Inhalt

Inhalt	I
Abbildungen.....	III
Tabellen.....	IV
Indizes	IV
Abkürzungen	V
Begriffe und Definitionen	V
Danksagung	VII
1. Einführung in das Thema.....	1
1.1 Einleitung.....	1
1.2 Stand der Technik.....	2
1.3 Ziel der Arbeit	5
1.4 Struktur der Arbeit.....	6
2. Grundlagen.....	8
2.1 Referenzmodel	8
2.2 Systemgrenzen	9
2.3 Passagierkabine.....	11
2.4 Passagiersitz	13
2.5 Befestigung des Passagiersitzes.....	16
2.6 Sitzgurte	17
2.7 Anthropometrie	18
2.8 Luftfahrtvorschriften	19
3. Literaturrecherche	21
3.1 Crashtest und die Auswirkungen auf einen Fötus (FAA, 19)	21
3.2 Sicherheitsgurte und Schultergurte (FAA, 2004)	22
4. Analyse des Designraums	25
4.1 Beschreibung der gewählten Annahmen	25
4.2 Beschreibung des Testobjektes.....	27
4.3 Analyse der Anforderungen mit NABC- Need-Approach-Benefits-Competition	28
4.4 Analyse der Sitzgurtdimensionierung	29
4.5 Analyse des Gurtabstandes im Kopfbereich	30
4.6 Analyse des Blickfeldes	32
4.7 Analyse der Kopfstützenbreite	35

4.8 Akzeptanzanalyse eines Schultergestützten Rückhaltesystems.....	36
5. Beschreibung der Konzeptentwicklung.....	37
5.1 Sicherung des Passagiers.....	37
5.2 Befestigung des Gurtsystems	37
5.3 Integration eines Gurtstraffers für maximalen Halt	39
Rotationsstraffer.....	39
Reversible Gurtstraffer.....	39
6. Konzeptauswahl	40
6.1 Dimensionierung der Gurte im Kopfbereich.....	40
6.2 Fixierung an dem Beckengurt	40
6.3 Anbindung an die Sitzschiene.....	40
6.4 Gurtstraffer	41
7. Konzeptvorstellung des detaillierten Designs	42
7.1 Übersicht	42
7.2 Aufbau.....	44
7.3 Gurtsystem.....	45
7.4 Sitzschienenanbindung	48
7.5 Gurtstraffer	48
7.6 Verbindungselement.....	49
7.7 Ein- und Ausbau des Rückhaltesystems.....	50
7.8 Anwendung	50
7.9 Verortung.....	51
8. Analyse des detaillierten Gurtdesigns.....	53
8.1 HIC Szenarien	53
9. Teststandversuche.....	56
9.1 Stimmigkeit der Dimensionierung.....	56
9.2 Annahme der Sitzsperrung.....	57
9.3 Darstellung vom normalen Verhalten eines Passagiers während des Fluges	59
9.4 Funktionsweise.....	60
9.5 Akzeptanz der Testperson.....	62
10. Limitierung.....	63
11. Diskussion.....	64
Literaturverzeichnis	65

Abbildungen

Abbildung 1- Standard Beckengurt (Bergmann, 2019).....	2
Abbildung 2- Flugbegleitersitz (Broderick, 2017)	3
Abbildung 3- Beckengurt mit Schlaufengurt für Kleinkinder (Breadley, 2012)	4
Abbildung 4- CARES Gurtsystem (KidsFlySafe, 2012)	5
Abbildung 5- A320-200 Kabinenlayout (Lufthansa, 2019).....	8
Abbildung 6- Rumpfausschnitt A300 (Dr. Janscó, 2014).....	9
Abbildung 7- Primärstruktur	10
Abbildung 8- Aufbau der Passagierkabine (Schaich & Lau, 1999)	11
Abbildung 9- Sitzbank einer Economy-Class	14
Abbildung 10- Explosionszeichnung Passagiersitz	15
Abbildung 11- Sitzschienen Anbindungen (Wessel, 2018).....	16
Abbildung 12- Fünfpunkt Gurtsystem (Aerosavvy, 2017).....	17
Abbildung 13- Anthropometrie Daten der Körpergröße (Ergotyping, 2019).....	18
Abbildung 14- Pavian im Crashtest (Snyder G., 1968).....	21
Abbildung 15- Optimaler Winkel laut FAA (FAA, 2004).....	22
Abbildung 16- Test-Dummys im Crashtest mit Beckengurt (dtc-ag, 2019)	23
Abbildung 17- Test-Dummys im Crashtest mit Schultergurt (NHTSA, 2019).....	24
Abbildung 18- Anthropometrische Daten japanischen Frau 5. Perzentil, Teil 1 (NASA, 2019) ..	25
Abbildung 19- Anthropometrische Daten japanischen Frau, Teil 2 (NASA, 2019).....	26
Abbildung 20-Test-Dummys 5. und 95. Perzentil (Ikonen, 2015)	27
Abbildung 21- Anthropometrische Daten der Kopfrotation (NASA, 2019)	30
Abbildung 22- Analyse der Abstände der Gurte im Kopfbereich	31
Abbildung 23- Winkel der Rückenlehne	32
Abbildung 24- Sichtbereich des Menschen (Dreyfuss, 1959).....	33
Abbildung 25- Analyse der Winkel der Gurt.....	34
Abbildung 26- Economy-Class von Etihad (Romano, 2017)	35
Abbildung 27- Sitzschiene mit Einsatz (Ancra, 2019)	37
Abbildung 28- Verortung der Sitzschienen (Walton, 2015)	38
Abbildung 29- Test-Dummy mit dem neuen Gurtsystem.....	43
Abbildung 30- Anbindung des Gurtes an die Sitzschiene	44
Abbildung 31- Gesamtübersicht des Konzeptes	45
Abbildung 32- Bauchunterstützung.....	46
Abbildung 33- Distanzstück des Gurtsystems.....	47
Abbildung 34- Verschluss für Sitzschiene (Ancra, 2019)	48
Abbildung 35- Verbindungselement.....	49

Abbildung 36- Beschreibung der Anwendung.....	51
Abbildung 37- HIC Analyse am Monument.....	54
Abbildung 38- HIC Analyse am Vordersitz.....	55
Abbildung 39- Testperson mit angelegtem Gurt	57
Abbildung 40- Designprototyp von hinten	58
Abbildung 41- Simulation der Tabletnutzung	59
Abbildung 42- Simulation des Greifens an die Netztasche	60
Abbildung 43- Vergleich mit einem herkömmlichen Beckengurt	61
Abbildung 44- Nahaufnahme der Bauchunterstützung	62

Tabellen

Tabelle 1- Materialauflistung Sitz RECARO.....	16
Tabelle 2- Auswahl der Perzentile	29

Indizes

hpA	Hektopascal
ft	Fuß
kg	Kilogramm
%	Prozent
cm	Zentimeter
m	Meter
lb	Pfund
s	Sekunde
t	Zeit
a	Beschleunigung
dt	Ableitung über die Zeit

g	Erdbeschleunigung
Δv	Vertikale Geschwindigkeit

Abkürzungen

PSU	Passenger Service Unit
FAA	Federal Aviation Administration
EASA	European Union Aviation Safety Agency
IFE	In-Flight Entertainment
NABC	Need Approach Benefits Competition
NASA	National Aeronautics and Space Administration
DGR	Dangerous Goods Regulations
IATA	International Air Transport Association
DIN	Deutsches Institut für Normung
FEM	Finite Elemente Methode
CAD	Computer Aided Design
HRS	Hours
HIC	Head Injury Criterion
ABP	Able Bodied Passenger

Begriffe und Definitionen

Dimensionierung: Im Ingenieurwesen bezeichnet man die Festlegung von Maßen aufgrund objektiver Kriterien während der Auslegung je nach Fachdisziplin als Bemessung oder Dimensionierung. (Wikipedia, 2019)

Purser: Ein Purser ist der ranghöchste Flugbegleiter auf einem zivilen Flug in einem Verkehrsflugzeug und hat somit die Leitungsfunktion des Kabinenpersonals.

PRM: PRM steht für Personen mit reduzierter Mobilität. Dies ist eine Personengruppe in der Luftfahrt, die besondere Unterstützung benötigt. Zu dieser Gruppe zählen auch schwangere Frauen.

FEM: Die Finite Elemente Methode ist ein numerisches Verfahren, das es möglich macht, die Verformungen und Spannungen in einem virtuellen Bauteil mit Hilfe eines Computers zu berechnen und darzustellen.

CAD: Computer Aided Design beschreibt das Erstellen von 2D und 3D Elementen unter Anwendung eines computergestützten Systems. Für diese Arbeit wird die Software Rhino vom Hersteller Robert McNeel & Associates verwendet.

IFE: Das ist In-Flight Entertainment ist das von den Fluggesellschaften bereits vorinstallierte Unterhaltungssystem für die Passagiere.

ABP: Able Bodied Passenger sind Passagiere, welche Aufgrund ihrer guten körperlichen und geistigen Verfassung in der Lage sind, die Kabinenbesatzung bei einer Notfallsituation zu unterstützen.

Danksagung

Ein paar Worte des Dankes möchte ich an die Menschen richten, die mich durch mein Studium begleitet haben. Vielen Dank an Professor Werner Granzeier und Jörn Biedermann, für die tolle Unterstützung bei dieser Arbeit. Ebenfalls möchte ich Professor Hans-Dieter Stucke danken, der mir während meiner Studienzeit immer ein kompetenter Ansprechpartner in allen Fragen war. Auch möchte ich mich bei Alexandros Hatzetheodorou bedanken, meinem Lernpartner über die gesamte Zeit des Studiums.

Allen Freunden, die mich während der Jahre unterstützt und mir mit Rat zur Seite gestanden haben, bin ich ebenfalls zu großem Dank verpflichtet. Meiner Freundin Hannah danke ich für ihre Unterstützung und das Testen des Prototyps dieser Arbeit.

Mein größter Dank gilt meiner Mutter Siegrid. Sie hat mir dieses Studium nicht nur ermöglicht, sondern mich auch in der ganzen Zeit auf nur jegliche erdenkliche Weise unterstützt. Ohne sie würde ich diese Danksagung heute nicht schreiben. Auf dass du mir als Muttertier noch viele Jahre mit deiner Weisheit und deiner Art zur Seite stehst.

Hamburg den 17.10.2019

Alex Gindorf

1. Einführung in das Thema

1.1 Einleitung

Die Welt ist im Wandel. Dies wusste nicht nur schon Saruman aus dem Klassiker „Der Herr der Ringe“, von J.R.R Tolkien, sondern auch die Luftfahrtbranche. Die Zeiten der klassischen Flugzeuge mit Strahltriebwerk und Zylinderrumpf neigen sich nach fast einem Jahrhundert langsam dem Ende zu. Die europäische Luftfahrtvision „Flightpath 2050“ und die Forschungsagenda „SIRA“ (Strategic Research and Innovation Agenda) zeigen eindrucksvoll, welche hohen Ziele sich die Forschung und Industrie in den nächsten 30 Jahren gesetzt haben. Herausforderungen, wie den CO₂ Ausstoß um 75% und die Lärmemissionen um 65% zu reduzieren, lassen sich nur gemeinsam und unter Verwendung neuester Technologien bewerkstelligen. (DLR, 2019)

Um diese Ziele zu erreichen, bedarf es nicht nur einer völlig neuen Struktur der Flugzeuge, auch die Passagierkabine muss sich den ständig neuen Anforderungen unterwerfen. Die Entwicklung von einer Kabine, in der es nur eine Klasse und Art von Passagiersitz gab, über Zeiten, in denen ein Klavier inklusive Klavierspieler mit am Bord war, bis hin zum heutigen 4- Klassensystem mit vier unterschiedlichen Sitzen, zeigt, welche Evolution die Kabine bereits durchlebt hat.

Heutzutage zeigen sich die Unterschiede zwischen den einzelnen Klassen am deutlichsten an ihren Sitzen. In Hinsicht auf Komfort, Materialien und Gewicht, sind die Unterschiede der Economy-Class, Premium Economy-Class, Business-Class und First-Class enorm. Die einzigen beiden Gemeinsamkeiten sind die Sicherheitsstandards, die alle Sitze erfüllen müssen sowie die Befestigung des Passagiers am jeweiligen Sitz.

Während für Passagiere unter normalen körperlichen Bedingungen ein Beckengurt ausreichend Schutz bietet, sind Personen mit eingeschränkter Mobilität (PRM) häufig nicht vor den Gefahren einer Notlandung und den damit einhergehenden Kräften geschützt. Diese Personengruppe wächst sechs Mal schneller im Vergleich zur Gesamtanzahl von Fluggästen weltweit. (Manuell, 2017) Zu der Gruppe der PRM gehören auch schwangere Frauen. Diese Bachelorarbeit widmet sich genau dieser Gruppe von Passagieren und dem Gurtsystem mit dem eine höhere Sicherheit erzielt wird.

1.2 Stand der Technik

Die Befestigung am Passagiersitz geschieht mit Hilfe eines sogenannten Beckengurtes. Ein solcher Beckengurt ist in Abbildung 1 dargestellt. Er besteht aus zwei Hauptkomponenten, einer Schnalle und einem Gegenstück. Die Schnalle dient gleichzeitig zum Öffnen des Gurtsystems.



Abbildung 1- Standard Beckengurt (Bergmann, 2019)



Dieser Beckengurt für die Passagiere wurde im Gegensatz zu den anderen Komponenten in der Kabine jedoch nie wesentlich weiterentwickelt, anders als bei den Gurtsystemen für die Kabinen- und Cockpitcrew. Sie werden mit einem Mehrpunktgurtsystem gesichert. Ein solcher Gurt für Flugbegleiter wird in Abbildung 2 dargestellt. Grund für diese Art von Gurtsystem ist die erhöhte Sicherheit während einer Notlandung.

Der aktuelle Stand der Technik bei den Befestigungssystemen in einem Verkehrsflugzeug sieht wie folgt aus.

Flugzeugcrew: Sie besitzt Vier- bzw. Fünfpunktgurtsysteme, welche den maximalen Schutz bieten. Diese Sicherheitsmaßnahmen sind notwendig, um im Falle einer Notlandung handlungsfähig zu bleiben und sofort die notwendigen Maßnahmen zu ergreifen, wie z.B. die Evakuierung der Passagiere über die Notrutschen.

Abbildung 2- Flugbegleitersitz (Broderick, 2017)

Erwachsene Passagiere: Sie werden mit einem Zweipunktgurt gesichert, dem sogenannten Beckengurt. Dieser Beckengurt existiert in allen Passagierklassen. Unterschiede gibt es, wenn vorhanden, nur in der Verarbeitung und in den Materialien. Das Grundsystem bleibt jedoch das Gleiche. Eine andere Möglichkeit gibt es in Verkehrsflugzeugen derzeit nicht.

Kinder bis zum ersten Lebensjahr: Kinder, die ihr erstes Lebensjahr noch nicht erreicht haben, bleiben zwei Möglichkeiten in einem Flugzeug zu reisen. Die erste Möglichkeit ist die am meisten gewählte Art, nämlich mit dem sogenannten Loop Belt. Dies ist eine Schlaufe, die um das Kleinkind gelegt wird und mit dem Beckengurt der Person verbunden wird, auf dessen Schoß das Kind sitzt. Diese Art der Befestigung steht jedoch stark in der Kritik, da das Kind im Falle einer Notlandung zwischen Ober- und Unterkörper des Erwachsenen eingeklemmt werden würde. Dieser Schlaufengurt ist in Abbildung 3 dargestellt. Diese Variante ist trotz des Risikos für das Kind so beliebt, da die meisten Fluggesellschaften keine Kosten für die Mitnahme des Kindes erheben.



Abbildung 3- Beckengurt mit Schlaufengurt für Kleinkinder (Breadley, 2012)

Die zweite, weitaus sicherere Möglichkeit ist ein eigener Kindersitz, ähnlich wie er in Autos eingesetzt wird. Bei einer Notlandung ist das Kind bei richtiger Anwendung optimal gesichert. Nachteil dieser Variante ist jedoch, dass die Fluggesellschaft in der Regel diese Sitze nicht zur Verfügung stellt. Auch muss ein kompletter Sitzplatz für das Kind im Vollpreis mitgebucht werden.

Kinder vom ersten Lebensjahr bis zum zweiten Lebensjahr: Hier gibt es mehrere Möglichkeiten das Kind zu sichern. Ein Loop Belt sowie ein Kindersitz sind beides bei Kindern bis zum ersten Lebensjahr als Sicherung möglich. Eine weitere Möglichkeit ist das CARES System. (KidsFlySafe, 2012) Es bietet die Möglichkeit, Kinder im Alter von ein bis vier Jahren, mit einem Gewicht zwischen 10 und 20kg sowie einer maximalen Körpergröße von 100cm zu sichern. Das Kind wird dabei mit einem Schultergurt, der mit der Rückenlehne und dem regulären Beckengurt verbunden wird, gesichert. Dieses Nachrüstset ist nicht bei den Fluggesellschaften verfügbar und muss in Eigeninitiative angeschafft werden. Dieses Gurtsystem wurde angelegt bei einem Kind in Abbildung 4 dargestellt.



Abbildung 4- CARES Gurtsystem (KidsFlySafe, 2012)

Kinder zwischen dem zweiten und vierten Lebensjahr: Hier besteht die Möglichkeit der Nutzung des CARES Systems, der eines Kindersitzes sowie eines normalen Beckengurtes.

Kinder ab dem vierten Lebensjahr: Ab diesem Zeitpunkt ist ein Kind unter Normalbedingungen zu groß für eines der zuvor erwähnten Sicherungssysteme. Ein Sitzplatz mit einem normalen Beckengurt wird ab diesem Alter zur Regel.

1.3 Ziel der Arbeit

Die Zielsetzung der Arbeit besteht darin, die Sicherheit des Passagiers, insbesondere Personen mit eingeschränkter Mobilität und schwangere Frauen während des Fluges und in

Crashsituationen zu erhöhen. Dabei wird das heutige Konzept durch die in dieser Arbeit durchgeführte Konzeptentwicklung bezgl. der Sicherheit verbessert. Das Konzept sieht ein Rückhaltesystem vor, das über die Schulter des Passagiers geführt wird und zusammen mit dem bereits existierenden Beckengurt zu einem sicheren Gesamtsystem erweitert. Dieses Konzept wird als Nachrüstset entwickelt, um komplizierte Eingriffe in die Struktur des Flugzeuges zu vermeiden.

In der Arbeit werden folgende Punkte diskutiert:

1. Analyse des aktuellen Stands der Technik
2. Festlegung der Personengruppe in Hinsicht auf Perzentile
3. Untersuchung von kritischen Stellen
4. Dimensionierung des Gurtes auf Grundlage der Untersuchung der kritischen Stellen
5. Bau eines Designprototyps
6. Testreihe an einer realen Person
7. Kritische Diskussion des erarbeiteten Konzepts

1.4 Struktur der Arbeit

Kapitel Eins behandelt die Einführung in das Thema, den Stand der Technik, das Ziel der Arbeit sowie den strukturellen Aufbau der Thesis.

Das zweite Kapitel beginnt mit den theoretischen Grundlagen der Flugzeugkabine sowie mit den Systemgrenzen. Das Augenmerk liegt auf dem Flugzeugmuster A320-200 der Firma *Airbus*. Es werden ebenfalls der Aufbau und die Materialien einer Sitzreihe des bekannten Herstellers *Recaro* beleuchtet. Außerdem wird auf die Anthropometrie eingegangen. Auch wird auf die Arbeit der Luftsicherheitsbehörden eingegangen, sowie ihre Anforderungen an einen Flugzeugsitz.

Im dritten Kapitel geht es um die bereits bestehende Literatur zum Thema der Passagiersicherung in Großraumflugzeugen. Es werden Forschungsberichte sowie Dokumente von Aufsichtsbehörden ausgewertet.

Die Analyse des Designraums wird in Kapitel Vier erstellt. Dies beinhaltet den allgemeinen NABC Ansatz (Need, Approach, Benefits, Competition) und die gewählten Perzentile der Testpersonen. Auf Grundlage dieser Informationen wird die Dimensionierung des Gurtes bestimmt.

Kapitel Fünf widmet sich der Konzeptentwicklung. Die Sicherung des Passagiers, die Befestigung des Gurtsystems und die Integration der Gurtstraffer werden hier beschrieben.

Kapitel Sechs zeigt die Konzeptauswahl. Es wird die Dimensionierung der Gurte, die Fixierung des Beckengurtes und die Sitzschienenanbindung beschrieben. Ebenfalls wird eine Bewertungsmatrix erklärt, die zeigt, wie die Konzeptauswahl zustande kommt.

In Kapitel Sieben wird auf die Konzeptvorstellung eingegangen. Das gesamte erarbeitete Design wird in diesem Kapitel erklärt.

Das achte Kapitel widmet sich der Analyse des Gurtdesigns und beschäftigt sich mit verschiedenen HIC Szenarien.

Kapitel Neun behandelt die Teststandversuche mit einer realen Person.

Das zehnte Kapitel zeigt die Limitierung des Konzepts in Hinblick auf die Anwendbarkeit anderer Flugzeugmuster auf.

Das elfte und letzte Kapitel beinhaltet die Diskussion und einen Ausblick.

2. Grundlagen

Die Grundlagen beinhalten das gewählte Referenzmodell, die Systemgrenzen, die Passagierkabine, den Passagiersitz, die Befestigung des Passagiersitzes, eine Analyse der Sitzgurte, die Erklärung der Anthropometrie und die aktuellen Luftfahrtvorschriften.

2.1 Referenzmodell

Als Referenzmodell wird eine A320-200 der Firma *Airbus* verwendet, weil dieses statistisch eines der am meisten eingesetzten Passagierflugzeuge zum Stand 2019 ist. Es wird ein Layout mit 168 Sitzen gewählt, wovon aber nur 154 benutzbar sind. (Lufthansa, 2019) Das lässt sich dadurch erklären, dass um die Situation einer Business-Class herzustellen, keine speziellen Sitze verbaut werden. Es werden dieselben Sitze wie in der Economy-Class verwendet, jedoch werden in den ersten sieben Reihen die mittleren Sitze gesperrt. Das in dieser Arbeit gewählte Layout ist in Abbildung 5 dargestellt.

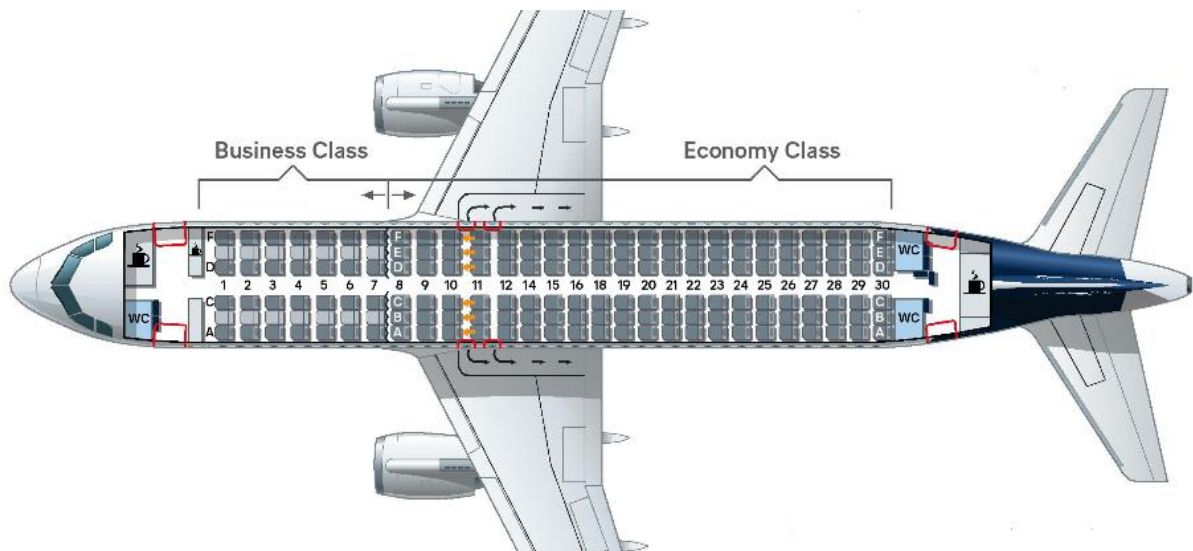


Abbildung 5- A320-200 Kabinenlayout (Lufthansa, 2019)

Mit insgesamt 9031 ausgelieferten Maschinen (Airbus, 2019) wird dieser Flugzeugtyp nur noch vom Model B737 der amerikanischen Firma *Boeing* übertroffen. Eine direkte Gegenüberstellung ist jedoch nicht möglich, da die 737 bereits seit den 1960er in Serie produziert wird und die A320 erst Ende der 1980er Jahre. (Theflyingengineer, 2010)

2.2 Systemgrenzen

Der Aufbau des Flugzeugrumpfes besteht aus zwei wesentlichen Komponenten: Der Primärstruktur des Flugzeuges, dargestellt in Abbildung 7, und der Druckkabine, die in den Rumpf integriert ist. Innerhalb der Druckkabine befinden sich das Cockpit, die Nutzlast und die Passagierkabine. Ein Ausschnitt einer solchen Druckkabine ist in Abbildung 6 dargestellt.

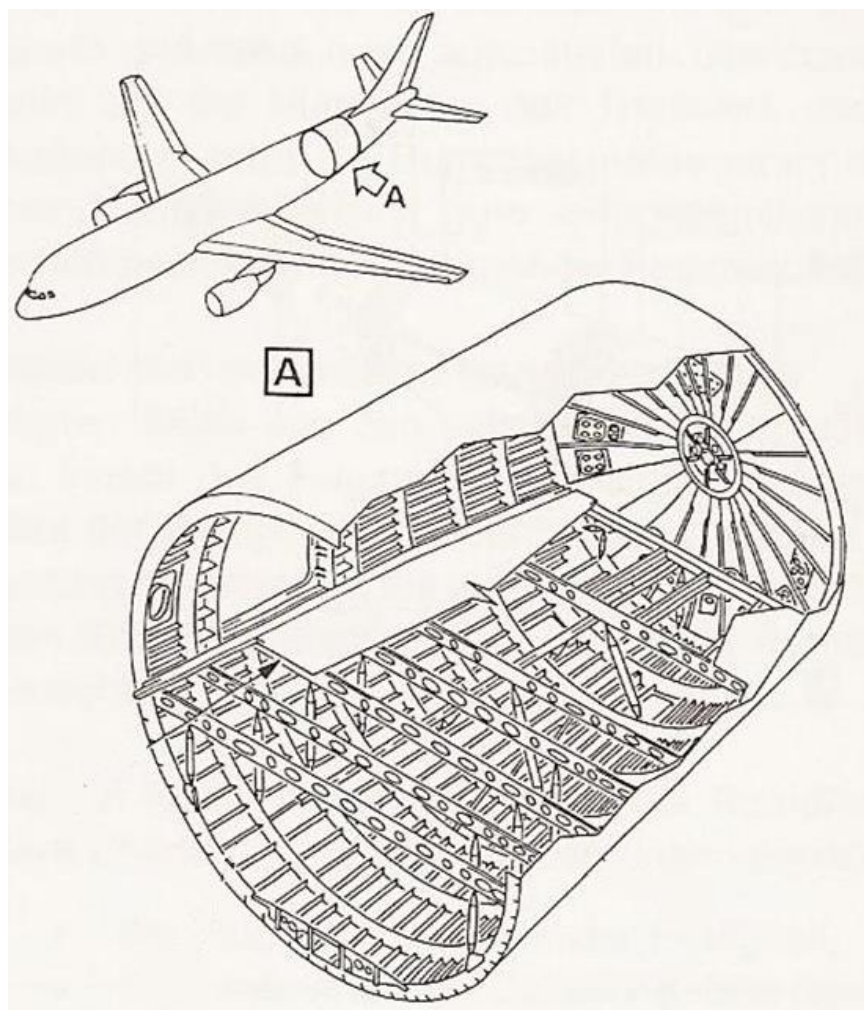


Abbildung 6- Rumpfausschnitt A300 (Dr. Janscó, 2014)

Die Primärstruktur besteht aus gebogenen Spanten und in Längsrichtung verlaufenden Stringern. Die Flugzeughaut ist an der Außenseite der Spanten per Niet befestigt. Eine solche Darstellung ist in Abbildung 7 zu sehen. Die Versteifungen dienen der Lastaufnahme des Rumpfes bezüglich sowohl statischen als auch dynamischen Lasten, die z.B. durch Böen oder

während der Manöver auftreten. Die Druckkabine dient zum Druckausgleich innerhalb der Kabine, damit der Druckunterschied zwischen innen und außen nicht zu groß wird. Bei der üblichen Reishöhe von ca. 36000ft kann es zu starken Differenzen zwischen den Drücken kommen, die ohne Druckkabine zu schweren gesundheitlichen Folgen der Passagiere führen könnten. Dies bedeutet, dass die Kabine aufgrund der im regulären Flugbetrieb herrschenden Druckdifferenz bedruckt werden muss. In einer Reiseflughöhe von 36000ft beträgt der Druck in der Kabine 700 Pascal bei einem atmosphärischen Druck von 200hpa. Auf dieser Höhe herrscht ein Druck von ca. 5000kg pro qm auf die Struktur. (Prof. Dr. Gleine, 2019)

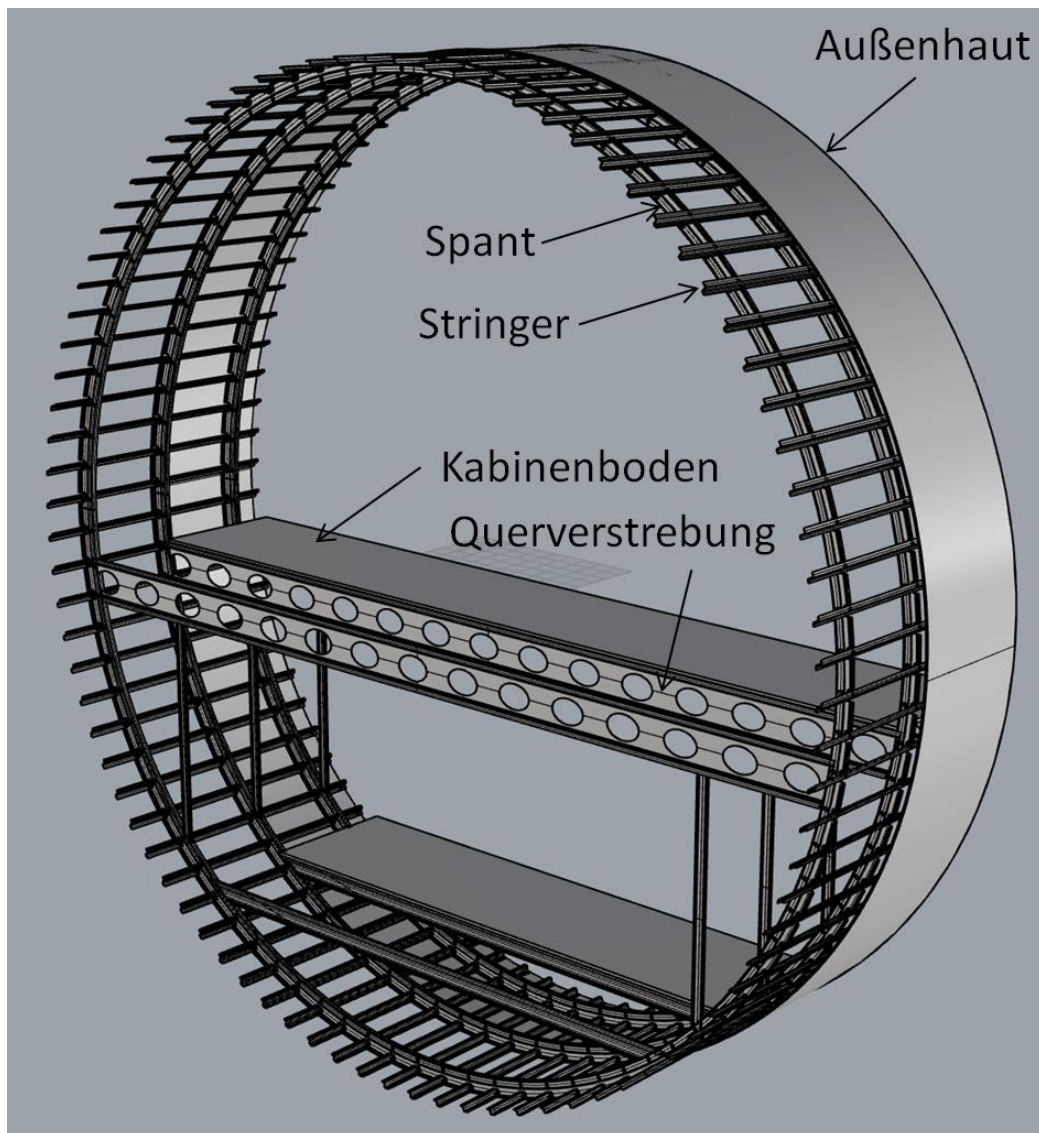


Abbildung 7- Primärstruktur

2.3 Passagierkabine

Die Passagierkabine in einem A320-200 ist wie bei allen Großraumverkehrsflugzeugen, eine Druckkabine. (Dr. Janscó, 2014) Die Kabine wird im Allgemeinen in Frachtraum und Passagierraum getrennt. Diese Trennung erfolgt über den Kabinenbogen. Während des Fluges ist es nicht möglich, den Frachtraum zu betreten. Dies hat zum einen den Grund, dass der Frachtraum, wie der Name schon sagt, hauptsächlich für den Transport der Fracht benötigt wird, zum anderen befinden sich dort viele Systeme und die dazugehörigen Kabel und Leitungen. Diese sind meistens nicht verkleidet und deshalb auch nicht durch Missbrauch geschützt.

Der strukturelle Aufbau einer Kabine besteht aus der Seitenwandverkleidung, dem Kabinenbogen, den Gepäckablagen, den Dadopanelen sowie der Decke und dem Fußboden, in dem die Sitzschienen eingelassen sind.

Ein typischer Aufbau einer solchen Kabine ist in Abbildung 8 dargestellt.

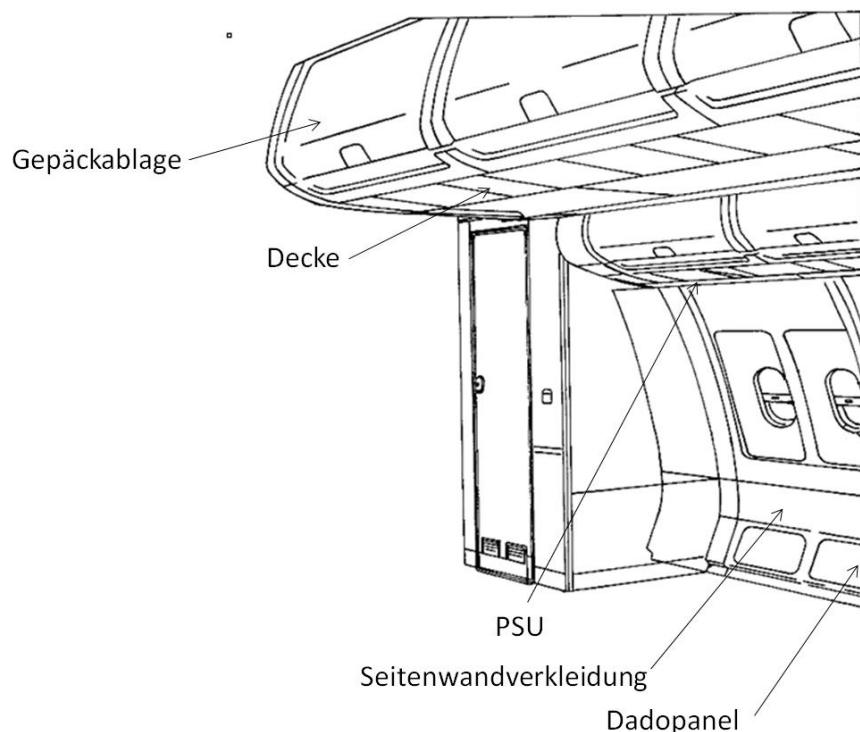


Abbildung 8- Aufbau der Passagierkabine (Schaich & Lau, 1999)

Im Passagierraum befinden sich ebenfalls die Bordküche (Galley), die Toiletten (Lavatory) und die Fluggastsitze der verschiedenen Passagierklassen. Die Bordküche und die Toiletten werden

als Monumente gefertigt. Monumente sind vordefinierte Bauräume, die unabhängig vom Flugzeugmuster konstruiert werden und anschließend nur noch an die Struktur des Flugzeuges angeschlossen werden müssen. Die Ausstattung dieser Monumente kann von jeder Fluggesellschaft individuell ausgesucht werden, so ist es möglich einen eigenen, unverwechselbaren Stil zu kreieren. Der detaillierte Aufbau der Kabine ist im Folgenden beschrieben:

Kabinenboden: Der Kabinenboden trennt den Bereich der Passagiere mit dem Frachtraum. Bestandteil des Kabinenbodens sind die Sitzschienen, die der Befestigung der Fluggastsitze dienen. Der Bogen ist auf den sogenannten Querstreben befestigt. Jeder Spant besitzt einen davon. An den Seiten des Kabinenbodens befinden sich das Dadopanel und die Anbindung zur Seitenwandverkleidung.

Seitenwandverkleidung: Sie dient zur Abgrenzung der Kabine zu den dahinter liegenden Systemen, die für den Betrieb des Flugzeuges benötigt werden. Dazu gehören unter anderem elektrische Leitungen und Rohre für die Belüftung der Kabine und des Wassersystems. Ein Verkleidungselement besitzt in den meisten Fällen die Breite von zwei Spanten. Außerdem ist sie das Verbindungsstück zwischen der Gepäckablage und des Dadopanel.

Dadopanel: Das Dadopanel befindet sich an der unteren Stelle der Seitenwandverkleidung. Es ist eine offene Verbindung zwischen der Passagierkabine und dem Frachtraum. Das Dadopanel besitzt eine veränderliche Geometrie, da es zwei Funktionen erfüllt. Zum einen dient das Dadopanel als Abzug für die gebrauchte Atemluft in der Kabine. Diese Luft wird im Frachtraum angesaugt und wiederaufbereitet. Die zweite Funktion findet nur im Notfall Einsatz. Im Falle eines plötzlichen Druckabfalls in der Kabine öffnen sich die Klappen innerhalb des Dadopanel und ermöglichen so einen schnellen Druckausgleich. Dieser schnelle Ausgleich verhindert, dass der Kabinenbogen durchsackt und es zu strukturellen Schäden am Flugzeug kommt.

Gepäckablage: Die Gepäckablage dient zur Aufnahme des Handgepäcks des Fluggastes. Es handelt sich hierbei um Fächer, die sich schließen aber nicht abschließen lassen.

Passenger Service Unit: Die PSU dient zur Unterbringung von verschiedenen, passagierrelevanten Funktionen. In ihr sind die persönlichen Leselampen und Luftduschen untergebracht. Ebenfalls gibt es eine Anzeige, einen Rufknopf sowie einen Lautsprecher. Auch die Sauerstoffmasken zur Bereitstellung von Atemluft während eines Druckabfalls in der Kabine sind in diesem Modul untergebracht. Die PSU wiederum ist im sogenannten Passagiersversorgungs kanal eingebaut, welcher sich direkt unter der Gepäckablage befindet.

Decke: Hinter dem Deckenelement befindet sich die Beleuchtung der Kabine. Außerdem sind noch elektrische Leitungen und Komponenten verlegt.

2.4 Passagiersitz

Der Passagiersitz muss eine Vielzahl von Anforderungen erfüllen. Neben den strengen Richtlinien, die von den jeweiligen Zulassungsbehörden an den Sitz gestellt werden, müssen auch die immer höher gestiegenen Ansprüche des Passagiers berücksichtigt werden. So bestehen die Hauptfunktionen eines Sitzes darin, den Passagieren einen komfortablen Flug zu ermöglichen sowie in Notfällen ausreichend passive Sicherheit bereitzustellen.

Für die Fluggesellschaften ist das Kriterium, das bei der Wahl von Komponenten, die im Flugzeug verbaut werden am stärksten wiegt, das des Gewichtes. Da die Masse eines Flugzeuges direkten Einfluss auf den Kerosinverbrauch hat, ist es notwendig, den Sitz so leicht wie möglich zu konstruieren.

Ein Standard Economy- Class Sitz besteht in der Regel aus dem Grundgerüst, dem Sitzpolster, der Rückenlehne und einem ausklappbaren Tisch, der in der Rückenlehne integriert ist. Des Weiteren besteht er aus zwei Armlehnen sowie der Anbindung zu den Sitzschienen. Ein solches Modell eines Sitzes ist als Explosionszeichnung in Abbildung 10 dargestellt. Für das Modell wurde eine Economy-Class 3er Sitzreihe der Firma *Recaro* gewählt. Sie besitzt ein Gewicht von ca. 58kg und ist zum Großteil aus Aluminium, Plastik und Stahl gefertigt. (themarketresearchnews, 2019) Eine ähnliche Sitzreihe ist in Abbildung 9 zeichnerisch dargestellt.



Abbildung 9- Sitzbank einer Economy-Class

Aufgrund steigender Ölpreise und der daraus resultierenden Erhöhung des Kerosinpreises, sind Hersteller von Sitzen gezwungen, diese stetig weiterzuentwickeln und dabei das Gewicht zu reduzieren. (Statista, 2019) Neue, leichte Materialien, wie zum Beispiel der Einsatz von Magnesium spielen dabei eine große Rolle. Auch das Weglassen des In-Flight Entertainment (IFE) Systems ist für viele Fluggesellschaften ein gängiges Mittel geworden, um ihre Flugzeuge leichter zu machen. In diesen Fällen setzen die Fluggesellschaften darauf, dass die Passagiere ihre eigenen Unterhaltungsgeräte mit am Board bringen (Bring your own device). (Agarwal, 2019)



Abbildung 10- Explosionszeichnung Passagiersitz

In Tabelle 1 ist die prozentuale Gewichtsverteilung anhand des verarbeiteten Materials dargestellt. (themarketresearchnews, 2019) Die größte Gruppe mit 43% Anteil am Gesamtgewicht ist Aluminium. Gefolgt von Plastik mit 16%, Stahl mit 10% sowie Schaum mit 8%.

Das IFE ist zwar mit 12% ebenfalls eine große Gruppe. Fällt jedoch in diesem Fall aus der Wertung, da das IFE System jeder Fluggesellschaft unterschiedlich aufgebaut ist. Das restliche Gewicht ist verteilt auf Leder (4%), Kabel (3%), Antriebssystem (2%), Sitzgurte (1%) und PU-Schaum mit ebenfalls 1%.

Material	Gewicht in kg	Anteil am Gesamtgewicht in %
Aluminium	24,7	43
Plastik	9,2	16
IFE	6,7	12
Stahl	5,8	10
Schaum	4,6	8
Sitzbezug	2	4
Verkabelung	1,9	3
Antriebsmotor	0,86	2
Sitzgurte	0,83	1
Polyurethan-Schaum	0,82	1

Tabelle 1- Materialauflistung Sitz RECARO

2.5 Befestigung des Passagiersitzes

Die Befestigung einer Sitzreihe an die Sitzschienen erfolgt über zwei Punkte. Über das sogenannte Front Fitting und das Rear Fitting. (Wessel, 2018) Das Front Fitting befindet sich am vorderen Teil des Sitzes und ist in der Regel etwas kleiner als das Rear Fitting, welches zur hinteren Anbindung dient. Diese beiden Befestigungen sind in Abbildung 11 dargestellt.

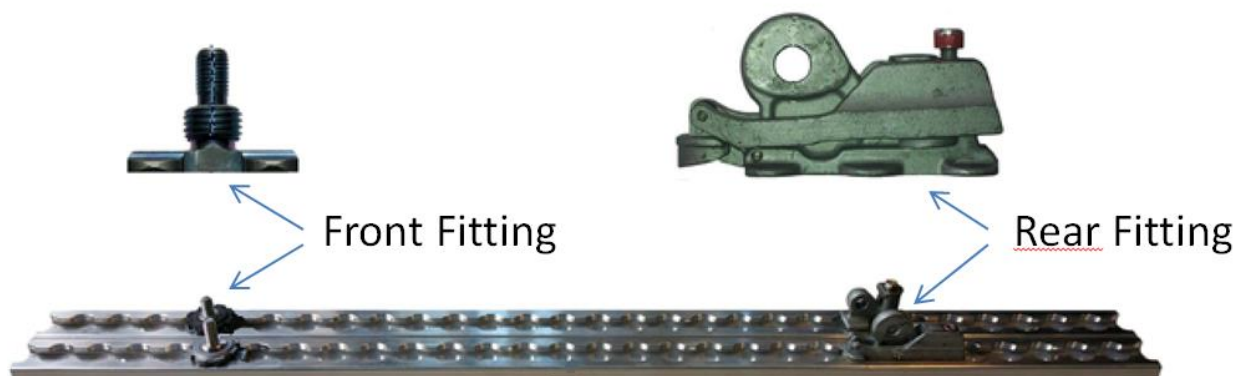


Abbildung 11- Sitzschienen Anbindungen (Wessel, 2018)

Mit Hilfe von Zapfen werden sie an ihrer jeweiligen Position in der Sitzschiene fixiert. Das Gewicht, die Bauart und das Material können von Hersteller zu Hersteller variieren. Einzig entscheidend ist, dass die Sicherheitsbestimmungen der zuständigen Luftfahrtbehörde eingehalten werden.

2.6 Sitzgurte

Die Sitzgurte für die Passagiere sowie für die Crew bestehen beide aus einem Nylongewebe, die jedoch eine unterschiedliche Breite aufweisen. Der Gurt der Passagiere ist meistens 2cm breit, während die der Crew etwas breiter sind. (Aerosavvy, 2017)

Der Beckengurt der Passagiere lässt sich mit einer Schnalle verschließen und öffnen. Hierbei handelt es sich um einen sogenannten Zwei-Punkt-Gurt. Sollte es jemandem nicht möglich sein, durch zu große Körpermaße oder aufgrund eines zu großen Bauchumfanges, kann der Gurt mit einer Verlängerung ausgestattet. Diese steht auf allen Flügen zur Verfügung und wird von der Fluggesellschaft bereitgestellt.

Bei den Sitzgurten für die Crew gibt es Unterschiede zu denen der Passagiere. Die Flugbegleiter sind meistens mit einem Vier-Punkt-Gurt gesichert, der in Abbildung 2 dargestellt ist. Die Cockpitbesatzung wird mit einem Fünf-Punkt-Gurt gesichert. Er besitzt im Gegensatz zu den Gurten der Flugbegleiter noch eine weitere Anbindung, die sich zwischen den Beinen der Piloten befindet. (Aerosavvy, 2017) Diese ist notwendig, um das sogenannte Submarining zu verhindern. Submarining beschreibt die Gefahr des unter dem Gurt Hindurchrutschens. Dieses Gurtsystem ist in Abbildung 12 aufgezeigt.



Abbildung 12- Fünfpunkt Gurtsystem (Aerosavvy, 2017)

2.7 Anthropometrie

Anthropometrie beschreibt die Lehre der Maße und Maßverhältnisse des menschlichen Körpers. Sie dient zur Auslegung von z.B. Arbeitsplätzen, Fahrzeugen, Werkzeugen oder auch Alltagsgegenständen. Um bei der Konzeptauslegung eine möglichst große Anzahl von Passagieren abzudecken, muss mit Perzentilen dimensioniert werden. Perzentile wiederum sind ein Teil der Anthropometrie und bilden einen statistischen Wert einer bestimmten Personengruppe. Meistens wird das 5., das 50. sowie das 95. Perzentil zur Dimensionierung gewählt. Dies wird anhand des folgenden Beispiels erklärt.

Beispiel: Ein Mann in der Personengruppe 18-65 Jahre besitzt eine Durchschnittsgröße von 175 cm (Medianwert). Dies wird als 50. Perzentil angesehen. Das bedeutet, ein Mann dieser Größe ist 50% größer und 50% kleiner als der Rest der Personengruppe. Etwas anschaulicher lässt sich das mit dem 95. und dem 5. Perzentil darstellen. Ein Mann mit einer Körpergröße von 185,5 cm ist größer als 95% der restlichen Männer in der Testgruppe. Somit gibt es nur 5% die größer sind als er. Genau andersherum ist es mit dem 5. Perzentil. Wenn ein Mann die Körpermaße von 165,5 cm aufweist bedeutet das, dass nur 5% seiner Testgruppe kleiner sind als er. Im Umkehrschluss sind 95% größer als er. Eine Anschauung der Perzentile auf die Körpergröße von Mann und Frau bezogen, ist in Abbildung 13 dargestellt.

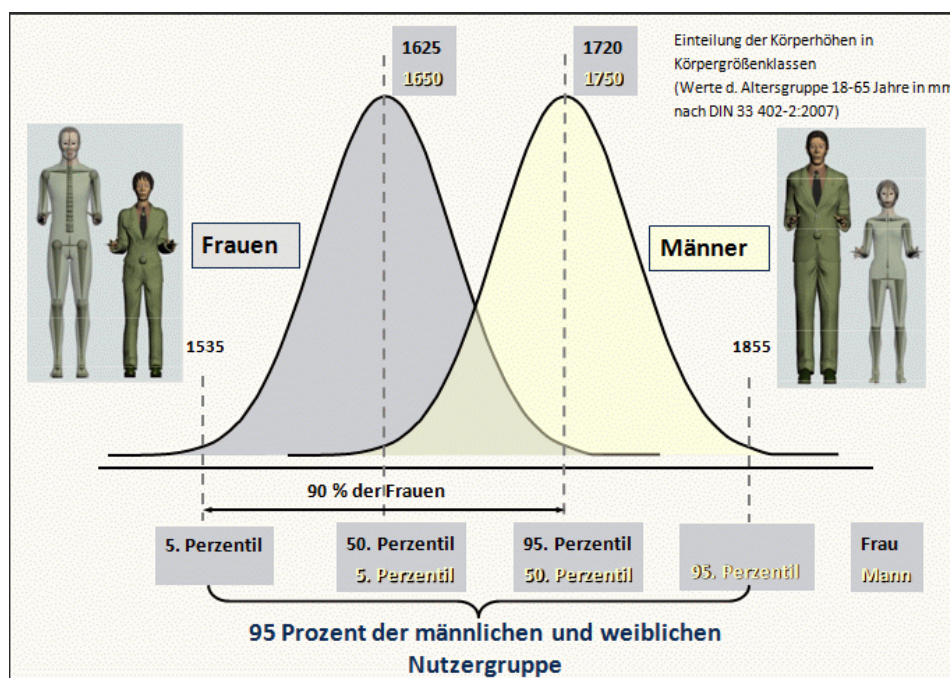


Abbildung 13- Anthropometrie Daten der Körpergröße (Ergotyping, 2019)

2.8 Luftfahrtvorschriften

Luftfahrzeuge aller Art müssen, bevor sie das erste Mal fliegen dürfen, zertifiziert werden. Diese Zertifizierung wird von den jeweils zuständigen Luftfahrtbehörden vorgenommen. Sie geben die Mindestanforderungen heraus und stellen sicher, dass diese eingehalten werden. Danach kann die jeweilige Behörde eine Musterzulassung für den neuen Flugzeugtyp ausstellen, die ihn zum Fliegen berechtigt.

Für die Vereinigten Staaten von Amerika ist die *Federal Aviation Administration* (FAA) zuständig, in der Europäischen Union wird die Regulierung von der *European Union Aviation Safety Agency* (EASA) vorgenommen.

Die Bauvorschriften für Großflugzeuge sind bei der EASA in der CS25 (Certification Specifications for Large Aeroplanes) abgelegt. Im Kapitel CS 25.561 findet man die EMERGENCY LANDING CONDITIONS für Großraumflugzeuge, unter welches auch die A320-200 fällt.

Unter dem Kapitel CS 25.562 findet man dann die EMERGENCY LANDING DYNAMIC CONDITIONS, welche für die Dimensionierung der Sitzgurte eine entscheidende Rolle spielen. Dort steht geschrieben:

“(a) The seat and restraint system in the aeroplane must be designed as prescribed in this

paragraph to protect each occupant during an emergency landing condition when –

(1) Proper use is made of seats, safety belts, and shoulder harnesses provided for in the design; and

(2) The occupant is exposed to loads resulting from the conditions prescribed in this paragraph.

(b) With the exception of flight deck crew seats, each seat type design approved for occupancy must successfully complete dynamic tests or be demonstrated by rational analysis based on dynamic tests of a similar type seat, in accordance with each of the following emergency landing conditions. The tests must be conducted with an occupant simulated by a 77kg (170 lb anthropomorphic, test dummy sitting in the normal upright position:

(1) A change in downward vertical velocity, (Δv) of not less than 10·7 m/s, (35 ft/s) with the aeroplane's longitudinal axis canted downward 30 degrees with respect to the horizontal plane and with the wings level. Peak

floor deceleration must occur in not more than 0.08 seconds after impact and must reach a minimum of 14 g.

(2) A change in forward longitudinal velocity (Δv) of not less than 13.4 m/s, (44 ft/s) with the aeroplane's longitudinal axis horizontal and yawed 10 degrees either right or left, whichever would cause the greatest likelihood of the upper torso restraint system (where installed) moving off the occupant's shoulder, and with the wings level. Peak floor deceleration must occur in not more than 0.09 seconds after impact and must reach a minimum of 16 g. Where floor rails or floor fittings are used to attach the seating devices to the test fixture, the rails or fittings must be misaligned with respect to the adjacent set of rails or fittings by at least 10 degrees vertically (i.e. out of parallel) with one rolled 10 degrees." (EASA, 2019)

Dies zeigt die hohen Anforderungen, die an einen Sitz gestellt werden, um eine Zertifizierung zu erlangen.

3. Literaturrecherche

Im folgenden Kapitel werden verschiedene Veröffentlichungen zu den Themen von Gurtsystemen im Flugzeug und Auswirkungen eines Crashtests auf einen Fötus erläutert. Ebenfalls wird in einem Abschnitt der aktuelle Stand der Technik ausgeleuchtet.

3.1 Crashtest und die Auswirkungen auf einen Fötus (FAA, 1986)

Im Jahr 1968 führte die FAA unter dem Titel „*Impact Injuries to the pregnant female and fetus in lap belt restraint*“ Tests durch, die den Einfluss eines Crashes auf einen Fötus und seine Mutter bei der Sicherung durch einen Beckengurt untersuchen sollen. (Snyder G., 1968) Für diesen Versuch wurden Affen (Paviane) mit einem Beckengurt in einem Flugzeugsitz gesichert und es wurde ein Abprall von einer Kraft mit 20g simuliert. Das Muttertier sowie der Fötus wurden mit verschiedenen Sensoren versehen, um später Daten, wie Beschleunigung und Druck, der auf den Uterus ausgeübt wurde, zu analysieren. Ein Bild dieses Versuches ist in Abbildung 14 dargestellt. Es zeigt einen schwangeren Pavian, fixiert mit einem Beckengurt kurz vor Beginn des Testes.

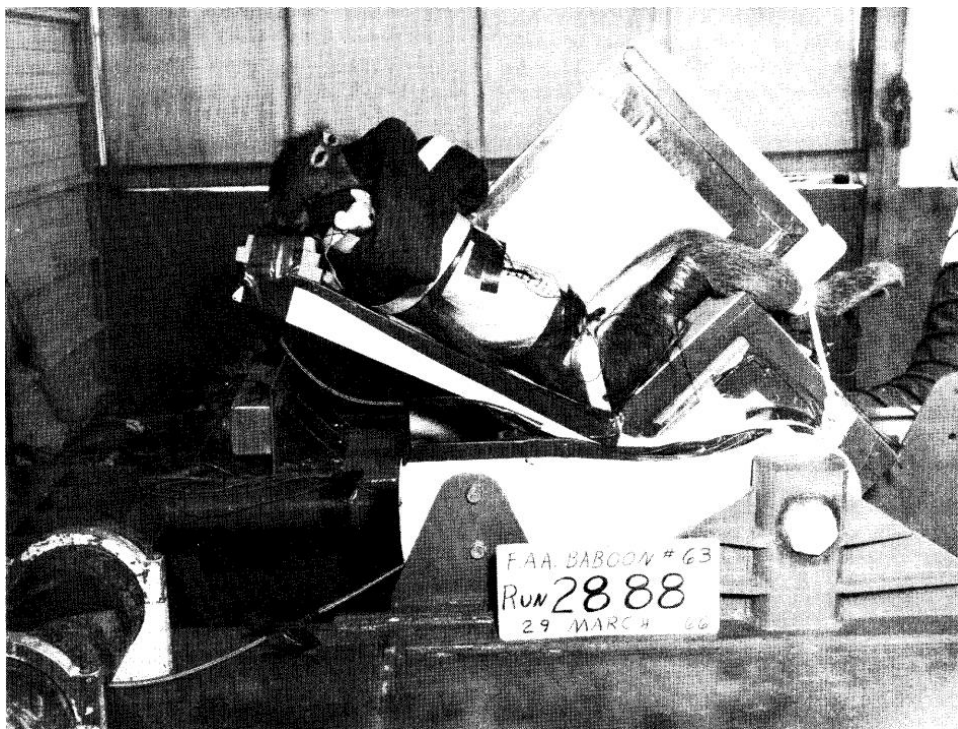


Abbildung 14- Pavian im Crashtest (Snyder G., 1968)

Die Wissenschaftler zogen folgendes Fazit: „Preliminary data have been accumulated from a series of seven deceleration experiments on baboons. Three of these animals were pregnant and in two cases fetal death occurred 1-2 hrs. after impact. (The third fetus and mother were sacrificed immediately after impact.)” (Snyder G., 1968)

Dieses Ergebnis zeigt deutlich die Gefahren für Schwangere auf, wenn sie im Fall einer Notlandung ausschließlich über einen Beckengurt angeschnallt sind. Eine deutlich bessere Lösung bietet der Einsatz von Gurtsystemen, die zusätzlich den Oberkörper eines Passagiers mit Hilfe von Schultergurten unterstützen.

3.2 Sicherheitsgurte und Schultergurte (FAA, 2004)

In einem Artikel aus dem Jahr 2004 zeigt die FAA die Vorteile eines Schultergurtsystems auf, das in allen Kleinflugzeugen seit 1986 in den USA Pflicht ist. (FAA, 2004) Als Empfehlung in Kombination mit einem Schultergurt und einem Beckengurt sieht die FAA einen Winkel von 55° zwischen dem Verbindungspunkt der beiden Gurtsysteme und der Mittellinie des Flugzeuges an. Diese Empfehlung wurde in Abbildung 15 vereinfacht dargestellt.



Abbildung 15- Optimaler Winkel laut FAA (FAA, 2004)

Zusammenfassend kam die Studie zu dem Ergebnis, dass der Einsatz von Schulterrückhaltesystemen die Gefahr von ernsthaften Verletzungen um 88% sowie die von tödlichen Unfällen um 20% reduziert. Dies zeigt den deutlichen Vorteil gegenüber herkömmlichen Beckengurten, die noch immer zum Standard der Sicherung der Passagiere in Verkehrsflugzeugen gehören. (FAA, 2004)

Einen Vergleich zwischen den beiden Systemen während eines Crashtests zeigen die Abbildungen 16 und 17. (dtc-ag, 2019), (NHTSA, 2019)



Abbildung 16- Test-Dummys im Crashtest mit Beckengurt (dtc-ag, 2019)

Das Bild 11 auf der linken Seite zeigt zwei Dummys in normaler aufrechter Sitzposition. Die Abbildung auf der rechten Seite zeigt die maximalen Auswirkungen auf die Dummys während eines 16g Crashtests.

Dieser Test wurde vom *Dynamic Test Center* in der Schweiz durchgeführt. Auch wenn in diesem Versuch nicht die empfohlene Schutzhaltung eingenommen wurde, zeigt er doch deutlich die Auswirkungen und Kräfte, die auf einen menschlichen Körper (besonders auf den einer schwangeren Person) wirken würden. (dtc-ag, 2019) Schwere Unterleibsverletzungen lassen sich in diesem Fall nur erahnen.

Anders sieht es bei einem Schulterrückhaltesystem aus, welches in Abbildung 12 dargestellt ist. Hier zeigt ebenfalls das linke Bild die Dummys in aufrechter Position, ähnlich wie es in Abbildung 11 zu sehen ist. Im Vergleich zum dargestellten Extremfall auf der rechten Seite sieht man jedoch deutliche Unterschiede. Hier wurde genau wie beim Versuch mit nur einer Beckengurt Sicherung ein 16g Crashtest simuliert. Der Winkel zwischen Unter- und Oberkörper ist in diesem Fall aber deutlich größer, was die Folge von einem deutlich reduzierten HIC (Head Injury Criterion) Wert hat.



Abbildung 17- Test-Dummys im Crashtest mit Schultergurt (NHTSA, 2019)

4. Analyse des Designraums

Das Ziel der Arbeit ist die Entwicklung eines Gurtsystems, das hauptsächlich für schwangere Frauen ausgelegt wird. Außerdem wird dieses Konzept als ein Nachrüstset entwickelt, welches einfach ein- und ausgebaut werden kann. Ein Eingriff seitens der Hersteller in die Primärstruktur des Flugzeuges ist nicht erforderlich. Als Entwicklungsmethode wurde der allgemeine NABC Ansatz gewählt. Dieser wird im nächsten Abschnitt genauer erörtert.

Die Herausforderungen, die sich aus den Literaturrecherchen ergeben haben, sind die Dimensionierung des Abstandes der Gurte im Kopfbereich im Kopfbereich, die Fixierung des Rückhaltesystems an dem bereits existierenden Beckengurt sowie die Anbindung an die Sitzschienen. Ebenfalls ist die allgemeine Akzeptanz des Passagiers, ein solches Rückhaltesystem zu nutzen, sehr wichtig.

4.1 Beschreibung der gewählten Annahmen

In diesem Abschnitt wird die gewählte Annahme diskutiert. Primär sind das die gewählten Perzentile, die für die Auslegung des Gurtes notwendig sind. Für die Konzeptentwicklung wurde auf die zwei Perzentile 5. und 95. zurückgegriffen. Die Auswahl dieser beiden Perzentile ist im Flugzeugbau meistens üblich, da mit ihr extreme Situationen dimensioniert werden. Dies soll an folgenden Beispielen anschaulicher gestaltet werden. Zur Auslegung der Höhe der Sauerstoffmasken, welche im Falle eines Druckverlustes in der Kabine von den Decken fallen, wird das 5. Perzentil einer Frau verwendet. Damit ist sichergestellt, dass 95% der Passagiere im Alter von 18-65 Jahren ihre Sauerstoffmaske selbstständig erreichen können. Die anderen 5% sind in diesem Fall auf die Hilfe ihrer Sitznachbarn angewiesen.

Das 95. Perzentil eines Mannes wird in aller Regel bei der Auslegung der Höhe in der

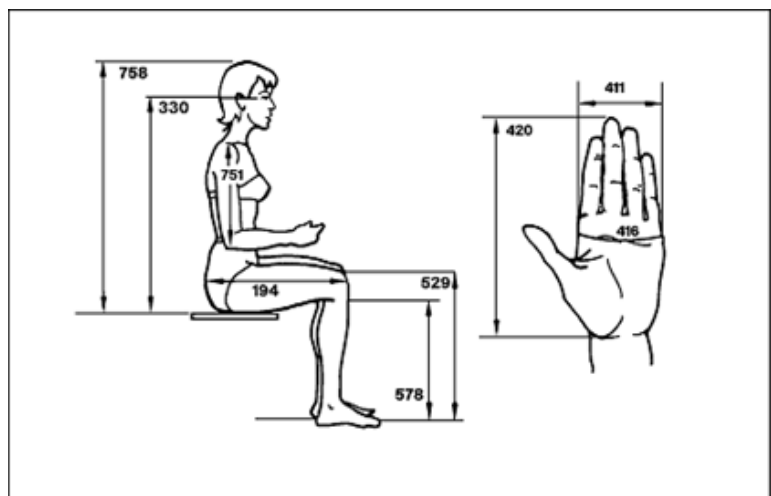


Abbildung 18- Anthropometrische Daten japanischen Frau 5. Perzentil, Teil 1 (NASA, 2019)

Lavatory genutzt. Dies soll gewährleisten, dass 95% der Passagiere der oben genannten Gruppe in der Lavatory aufrecht stehen können. Das 50. Perzentil wird gerne zur anfänglichen Dimensionierung genutzt, da es den exakten Durchschnittswert einer Personengruppe darstellt. Zur Dimensionierung des Gurtsystems wurde allerdings nur auf das 5. und 95. Perzentil, jedoch nicht auf das 50. zurückgegriffen, da das 5. und 95. Perzentil Extremfälle sind. Eine Nutzung des Gurtes bei allen Perzentilen die dazwischen liegen ist gegeben.

Bei der zu untersuchenden Personengruppe handelt es sich um eine 40-jährige Frau japanischer Abstammung (5. Perzentil). Die Daten der Personengruppe stammen aus dem Jahr 2000 und wurden von der NASA ermittelt. (NASA, 2019) Sie spiegeln die Bedingungen unter *One Gravity Conditions* wieder. Dies bedeutet unter den normalen Bedingungen, die auf der Erdoberfläche herrschen.

Eine Frau der genannten Personengruppe weist eine Sitzhöhe von 78,3cm auf. Dieses Maß beschreibt die Länge von der Unterseite des Oberschenkels bis zur Schädeldecke. Die Darstellung dieser Größe befindet sich in Abbildung 18 und ist mit der Nummer 758 gekennzeichnet. Die Länge vom Knie bis zum Gesäß beträgt 48,9cm und ist in der nebenstehenden Abbildung mit der Ordnungszahl 194 versehen. Ein weiteres Maß, das zur Dimensionierung genutzt wurde, ist die Höhe der Augen im Sitzen. Dieses beträgt in diesem Fall 68,1cm und ist in Darstellung 19 mit der Ordnungszahl 330 markiert.

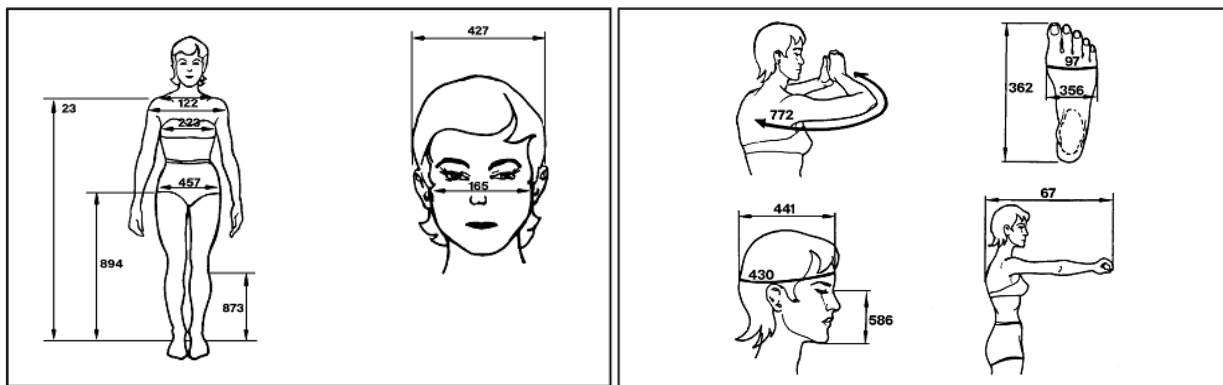


Abbildung 19- Anthropometrische Daten japanischen Frau, Teil 2 (NASA, 2019)

Ebenfalls wichtig für die Auslegung des Gurtsystems sind die Maße der Kopflänge, sowie die der Kopfbreite. Warum dies der Fall ist, wird im Kapitel 4.5 Anordnung der Sitzgurte genauer erklärt. Die Kopfbreite beträgt 14,7cm und die Länge des Kopfes 16,7cm. Beide Maße sind in Abbildung 19 dargestellt. Die Kopfbreite weist die Ordnungszahl 427 und die der Kopflänge 441 auf.

Beim 95. Perzentil wurden bei der Dimensionierung dieselben Körpermaße verwendet wie beim 5. Perzentil. Diese lauten wie folgt: Die Sitzhöhe beträgt 91,2cm, die Länge Knie bis Gesäß 57,8cm und die Höhe der Augen im Sitzen 79,5cm. Die dazugehörigen Ordnungszahlen sind 758, 194 und 330. Diese sind Abbildung 16 dargestellt.

Im Bild 17 befindet sich die Kopfbreite (Ordnungszahl 427) des 95. Perzentils, welches mit 16,8 bemaßt ist. Sowie die Länge des Kopfes, die 19,6cm beträgt und mit der Ordnungszahl 441 versehen ist.

4.2 Beschreibung des Testobjektes

Zur Dimensionierung und zur Analyse des Gurtsystems werden als Testobjekt zwei Dummys verwendet, die in Abbildung 20 dargestellt sind. Die Dummys weisen jeweils die Maße des 5. Perzentiles einer Frau sowie des 95. Perzentiles auf. Die gewählten Maße wurden bereits in den Abschnitten 4.4.1 und 4.4.2 erläutert.

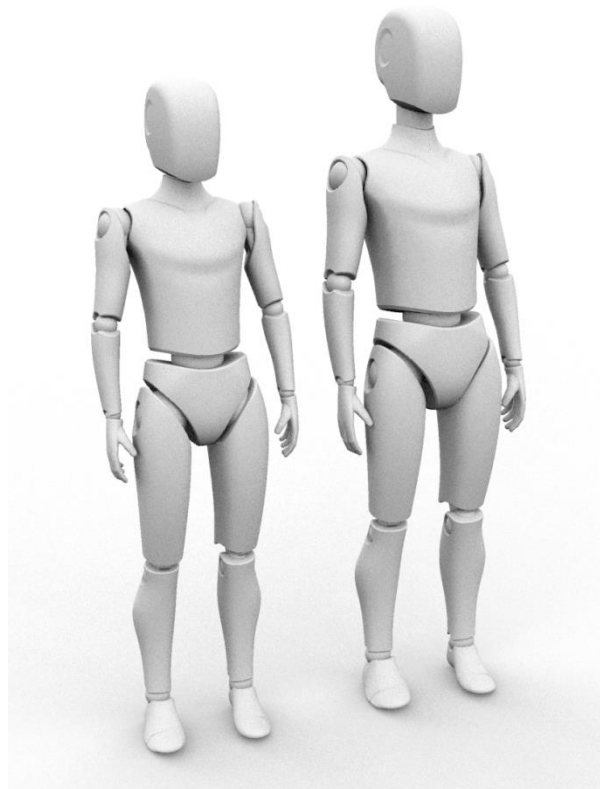


Abbildung 20-Test-Dummys 5. und 95. Perzentil (Ikonen, 2015)

Beide Dummys wurden mit der 3D Software *Rhino* vom Hersteller *Robert McNeel & Associates* unter der Verwendung von Flächenelementen hergestellt. (Ikonen, 2015)

4.3 Analyse der Anforderungen mit NABC- Need-Approach-Benefits-Competition

Der NABC Ansatz ist ein gängiges Mittel, um ein Geschäftsmodell oder, wie in diesem Fall, ein Konzept in den vier Dimensionen (Bedarf, Ansatz, Vorteile und Wettbewerb) zu bewerten und damit die Markttauglichkeit zu bestimmen. Ursprünglich wurde die Methode vom *Standford Research Institute* entwickelt und war ausschließlich für die Geschäftswelt gedacht. Jedoch findet die Methode immer häufiger auch Anwendung in fremden Gebieten, wie z.B. in den Ingenieurwissenschaften. Die vier Dimensionen für den in dieser Arbeit entwickelten Sicherheitsgurt werden im Folgenden diskutiert:

Bedarf: Der Bedarf für ein schultergestütztes Gurtsystem, welches für Passagiere zum Einsatz kommt, lässt sich erst auf den zweiten Blick erkennen. Im Jahr 2018 nutzten weltweit 4,3 Milliarden Menschen ein Flugzeug um an ihr Ziel zu gelangen. In diesem Zeitraum wurden 523 Passagiere im Flugverkehr getötet. Dies entspricht einem prozentualen Anteil von gerade einmal 0,00000012 %. Etwas, was jedoch in keiner Statistik erfasst wird, sind Turbulenzen sowie harte Landungen eines Flugzeuges. In solchen Situationen kann es leicht dazu kommen, dass eine schwangere Frau plötzlich mit ihrem Oberkörper nach vorne kippt und so eine Gefahr für sie und ihr Ungeborenes entsteht.

Ansatz: Um ein solches Vorkippen des Oberkörpers zu verhindern, würde ein schultergestütztes Gurtsystem die optimale Lösung bieten. Als Vorbild werden bei diesem Konzept Gurte genommen, die in der Automobilindustrie und dort hauptsächlich im Rennsport eingesetzt werden. Um das Gurtsystem für Fluggesellschaften möglichst attraktiv zu machen, wurde das Konzept als Nachrüstset entwickelt.

Vorteile: Die Vorteile eines solchen Gurtsystems sind neben den medizinischen Aspekten für das Ungeborene natürlich auch die Sicherheit der Mutter. Der HIC Wert bei einem Crash wird um ein Vielfaches verringert. Die Fluggesellschaften haben den Vorteil, dass das gesamte System schnell und von nur einem Techniker nach Bedarf ein- und ausgebaut werden kann. Die Befestigung an den bereits vorhandenen Sitzschienen verhindert, dass die Hersteller der Flugzeuge teure und komplizierte Veränderungen an der Struktur des Flugzeuges vornehmen müssen.

Wettbewerb: Der Wettbewerb in diesem Bereich der Passagiersicherheit ist bisher quasi nicht vorhanden. Die einzigen Nachrüstsysteme für einen schultergestützten Sicherheitsgurt sind nur für Kinder unter vier Jahren vorhanden. Diese Systeme werden jedoch nicht mit den Sitzschienen verbunden, sondern direkt mit der Rückenlehne des genutzten Sitzes. Einzig die Kabinen- und Cockpitcrew wird mit Mehrpunktgurtsystemen ausgestattet. Dieser erfordert jedoch einen Eingriff in die Struktur des Flugzeuges.

4.4 Analyse der Sitzgurtdimensionierung

Um die Dimensionierung des Gurtsystems vorzunehmen, wurden zuerst die kritischen Stellen lokalisiert und analysiert. Als kritische Stellen wurden der Abstand der Gurte im Kopfbereich im Kopfbereich sowie der Winkel der Gurte ausgemacht. Der Abstand der Gurte im Kopfbereich ist deshalb so wichtig, weil sie einen direkten Einfluss auf den Komfort des Passagiers haben. Ist der Abstand zu gering ausgelegt besteht das Risiko, dass sich Kopf und Gurt beim zur Seite schauen berühren. Dies würde eine Konversation mit dem Sitznachbar sehr unangenehm machen. Der Winkel der Gurte wiederum hat direkten Einfluss auf das Sichtfeld des Passagiers. Wird bei einem gewissen Perzentil, eine gewisse Brusttiefe überschritten, ist der Gurt direkt vor den Augen der betreffenden Person. Erneut wäre eine starke Einschränkung des Komforts die Folge. Beide Untersuchungen finden im folgenden Abschnitt statt.



	5. Perzentil japanische Frau	95. Perzentil japanische Frau
Abstand der Gurte zueinander im Kopfbereich		
Blickfeldanalyse der Gurte im Kopfbereich		

Tabelle 2- Auswahl der Perzentile

4.5 Analyse des Gurtabstandes im Kopfbereich

Um die Auslegung des Abstandes der Gurte im Kopfbereich vorzunehmen, wurde das Testobjekt des 95. Perzents einer japanischen Frau verwendet. Entscheidend für die Dimensionierung sind in diesem Fall die Länge des Kopfes, die Höhe im Sitzen sowie die Höhe der Rückenlehne des verwendeten Sitzes.

Die Kopflänge beträgt in diesem Fall 19,6 cm. Bei einer Kopfdrehung von 90° ergibt sich damit in Blickrichtung eine Länge von 9,8 cm aus der Mitte des Sitzes gesehen. Diese Kopfdrehung von mindestens 90° ist in unserem Fall nur mit dem 95. Perzentil möglich, das 5. Perzentil kann seinen Kopf nicht so weit drehen. (NASA, 2019) Dies ist in Abbildung 21 zu sehen.

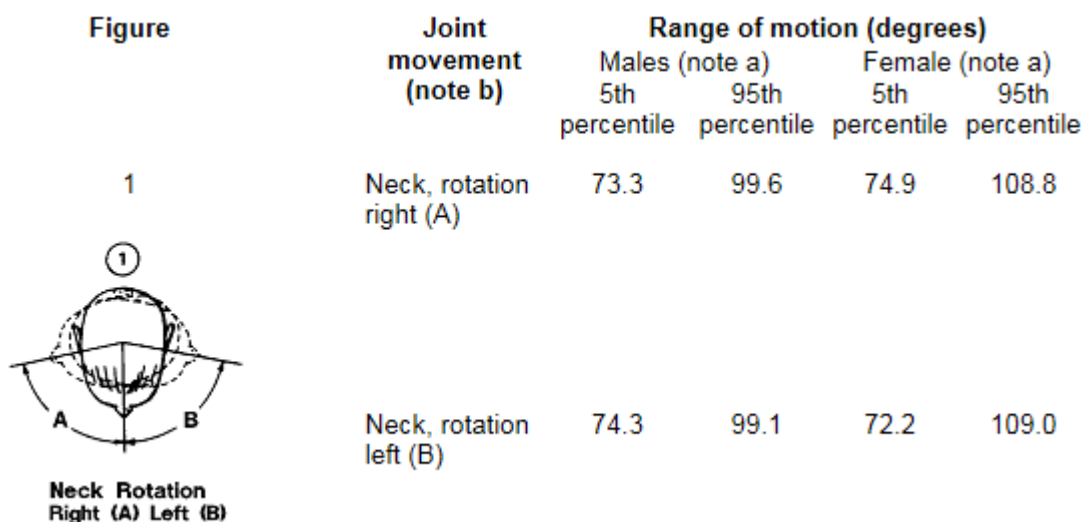


Abbildung 21- Anthropometrische Daten der Kopfrotation (NASA, 2019)

An diesem Punkt würde es noch eine Berührung des Kopfes mit dem Gurt geben. Für den Komfort wurde noch eine Zone von 2,5 cm Abstand zum Gurt ausgelegt. Dies bedeutet, dass von der Mitte des Sitzes aus, die Gurte jeweils 12,3 cm nach außen liegen müssen. Eine Reduzierung auf knapp 10cm wäre möglich, würde aber den Komfort stark einschränken, da es so leicht zu Berührungen zwischen dem Gurt und dem Gesicht kommen kann.

Um die ausgewählte Breite zu gewährleisten, wird zuerst ein Gurtsystem betrachtet, das knapp unterhalb der Kante der Rückenlehne eine Abzweigung aufweist. Es zeigt sich, dass es bei dieser Variante nur schwer möglich ist, den nötigen Abstand einzuhalten, da sich in der Praxis

der Passagier in seinem Sitz mit dem Oberkörper bewegt. Ebenfalls können starke Turbulenzen eine ungewollte Bewegung des Gurtes begünstigen.

Der zweite Ansatz besteht darin, das Problem mit einem Distanzstück zu lösen. Die Abzweigung des Gurtsystems wird in diesem Fall auf der mittleren Höhe der Rückenlehne stattfinden. Oberhalb der Abzweigung wird dann das Distanzstück angebracht werden. Es hat die Länge von 33cm und eine breite den 5cm. Der Gurt wird an den beiden Enden durch das Distanzstück geführt. Damit ist es begrenzt in der Höhe verstellbar. Das Konzept ist in Bild 22 zeichnerisch dargestellt.

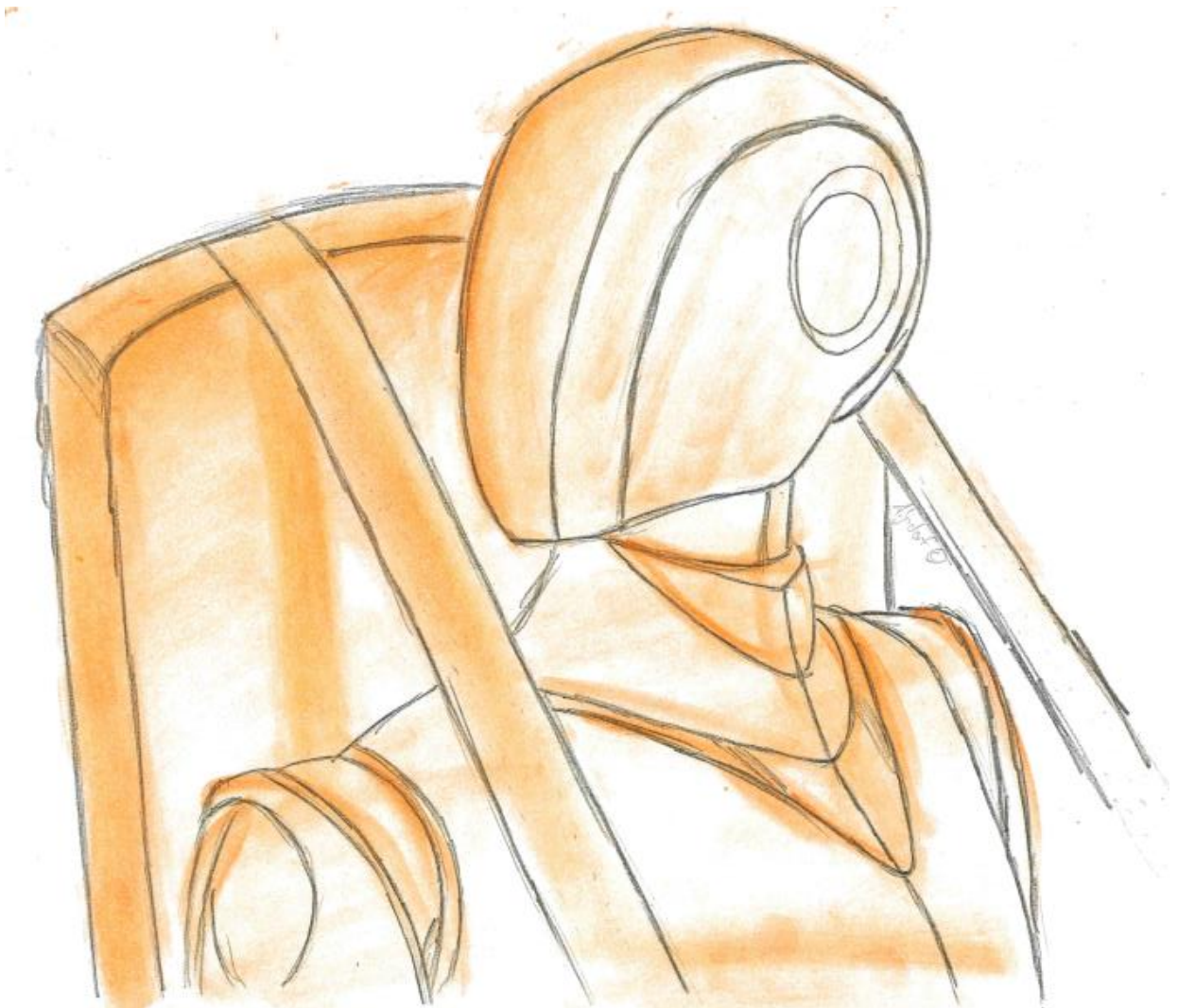


Abbildung 22- Analyse der Abstände der Gurte im Kopfbereich

4.6 Analyse des Blickfeldes

Bei der Analyse, unter welchem Winkel der Gurt und das direkte Blickfeld kollidieren, sind die Maße der Augenhöhe im Sitzen und die Höhe der Rückenlehne von Bedeutung. Aus diesen beiden Maßen leitet sich dann der maximale Winkel ab, den der Gurt noch haben darf. Aus

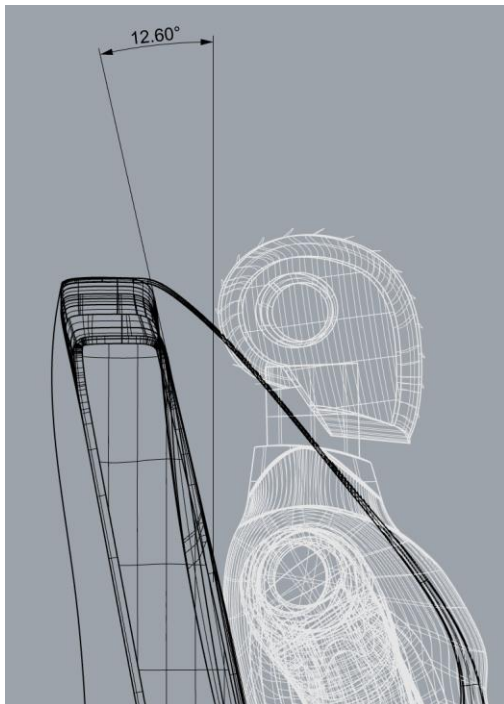


Abbildung 23- Winkel der Rückenlehne

diesem Winkel wiederum ergibt sich die Tiefe der Brust, die eine schwangere Frau noch aufweisen darf, bevor es zu einem Konflikt zwischen Blickfeld und Gurt käme. In diesem Fall wird mit dem 5. Perzentil einer japanischen Frau gearbeitet. Aufgrund der kleineren Länge des Kopfes, ist die Abstand der Gurte im Kopfbereich nicht 12,3 cm wie im Fall des 95. Perzentiles, sondern nur 11 cm aus der Mitte des Sitzes.

Die Höhe der Augen liegt in diesem Szenario bei 78,3 cm. Bei unserem Sitz ist die Rückenlehne wie üblich leicht nach hinten geneigt. In diesem Fall beträgt der Winkel knapp 12,6 °. Dies ist in Bild 23 dargestellt. So ergibt sich für die Höhe der Sitzlehne in Relation zur sitzenden Person ein Maß von 76,2 cm. Das Blickfeld wurde auf 60° festgelegt, dies entspricht dem Bereich,

wo der Mensch am besten sehen kann und noch alle Farben und Formen uneingeschränkt wahrnimmt. (Dreyfuss, 1959) Die Abbildung 24 zeigt die kompletten visuellen Abmessungen des Kopfes auf.

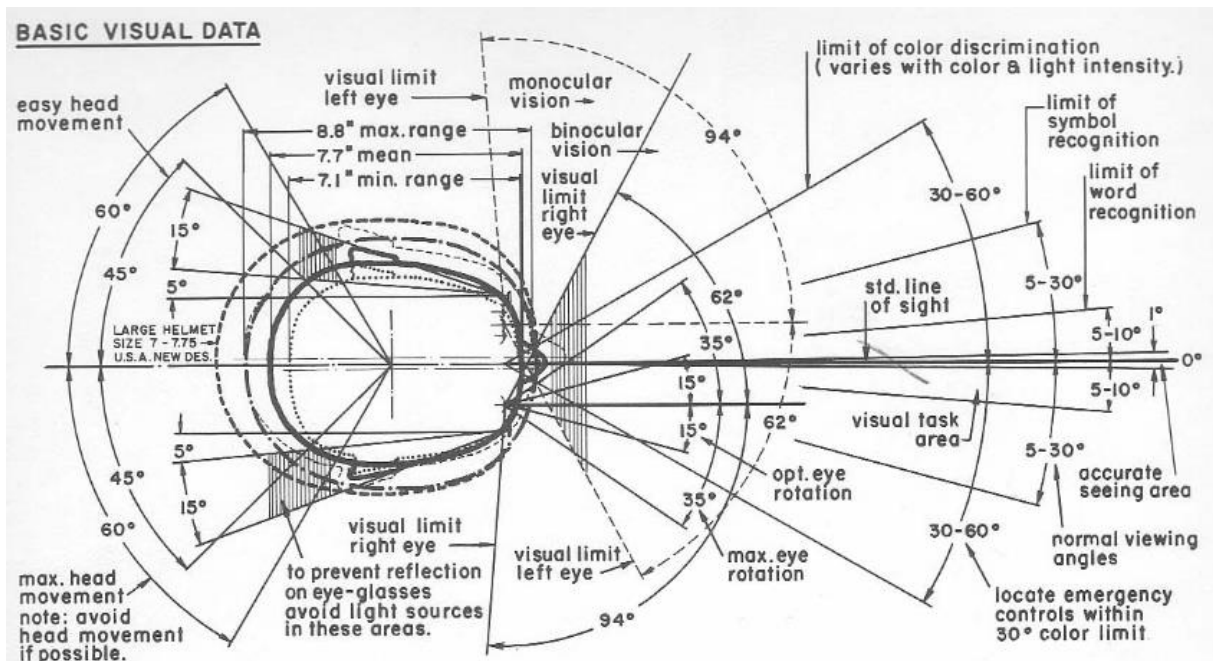


Abbildung 24- Sichtbereich des Menschen (Dreyfuss, 1959)

Aufgrund der Höhe der Rückenlehne, der Höhe der Augen im Sitzen und des gewählten Blickfeldes von 60° ergibt sich ein maximaler Winkel von 37°, den der Gurt aufweisen darf, bevor er das Blickfeld des Passagiers direkt behindert. Dies ist in Abbildung 25 aufgezeigt.



Abbildung 25- Analyse der Winkel der Gurt

Aus diesem Winkel ergibt sich nun die absolute Tiefe der Brust, die die schwangere Frau noch aufweisen darf, bevor der Gurt ihr Blickfeld aktiv einschränkt. Diese Tiefe beträgt ca. 31cm. Leider gibt es über die maximale Brusttiefe von schwangeren Personen keine verlässlichen Daten. Um trotzdem eine Relation zu den 31cm zu schaffen, wird der Vergleich mit einem 40-jährigen Nordamerikaner aus dem Jahr 2000 herangezogen. Beim 95. Perzentil dieser Personengruppe beträgt die Brusttiefe 28.2 cm. (NASA, 2019)

4.7 Analyse der Kopfstützenbreite

Die Breite, mit der die Gurte auseinanderliegen, hat direkten Einfluss auf die Maße der Kopfstütze. Solche sind zwar noch nicht in allen Economyklassen der Fluggesellschaften vorhanden, jedoch legen sie immer mehr Wert darauf, auch die günstigste Klasse im Flugzeug so komfortabel wie möglich zu gestalten. Eine solche Kopfstütze der Economy-Class der Fluggesellschaft *Etihad Airways* ist in Abbildung 26 dargestellt. (Romano, 2017)



In einem solchen Fall müsste sichergestellt sein, dass die seitliche Begrenzung der Kopfstütze nicht mit dem Gurt kollidiert. Sie müsste also einen Abstand von mindestens 14,8cm aus der Mitte des Sitzes aufweisen. Dieses Maß setzt sich aus den 12,3cm aus dem Abschnitt XX und 2,5cm zusammen, welche die Gurtbreite darstellt.

Abbildung 26- Economy-Class von Etihad (Romano, 2017)

4.8 Akzeptanzanalyse eines Schultergestützten Rückhaltesystems

Die Aussagen im folgenden Abschnitt sind vom Autor der Arbeit entweder persönlich, oder per Telefon von den jeweiligen Personen notiert worden.

Frau Nikoletta Lindberg- Chatzitheodorou, eine langjährige Flugbegleiterin und aktuelle Purserin der deutschen Fluggesellschaft Lufthansa sagte, dass ein schultergestütztes Rückhaltesystem, ähnlich wie es beim Kabinenpersonal zum Einsatz kommt, eine sicherere Alternative zum Beckengurt wäre.

Auch merke sie an, dass ein solches System nicht nur sinnvoll bei schwangeren Frauen sei, sondern auch bei Personen mit eingeschränkter Mobilität. Denn diese Personengruppe hätte teilweise auch beim Start oder bei der Landung Probleme, die Körperspannung ausreichend zu halten, um ein nach vorne oder zur Seite kippen zu verhindern.

Eine zweite Meinung zum Konzept konnte von Frau Sanne Lehmann, ebenfalls eine Flugbegleiterin der Lufthansa, mit 20 Jahren Berufserfahrung und einer Lizenz zum Arbeiten auf dem Flugzeugmuster A320, eingeholt werden.

Sie berichtet, dass sie den Beckengurt bei Flügen während ihrer Schwangerschaft als unangenehm empfand. Sobald Druck auf den Bauch ausgeübt wird, auch wenn es nur ein leichter ist, stieg ihr der Gedanke in den Kopf, dass dieser Druck sich auf ihr Kind überträgt. Ein Gurtsystem, das den Druck im Bauchbereich minimieren oder gar ganz verschwinden lassen würde, wäre aus ihrer Sicht eine bessere Alternative zum Beckengurt. Die zweite Anmerkung von Frau Lehmann war, dass abgesehen von der Personengruppe der PRM, auch eine zweite Gruppe im Flugzeug von einem solchen Gurtsystem profitieren würde, nämlich die der ABP (Able Bodied Passengers). Diese Personen werden gerne auf den Sitzen direkt an den Notausstiegen platziert, damit sie im Falle einer Notlandung der Kabinenbesatzung bei einer Evakuierung helfen können. Zum Beispiel indem sie die Notausgänge selbständig öffnen. Sitze in diesen speziellen Bereichen des Flugzeuges könnten mit einem solchen Gurtsystem ausgestattet werden, um die Chance der Unversehrtheit der ABP bei einer Notlandung zu erhöhen.

5. Beschreibung der Konzeptentwicklung

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit der Entwicklung des Konzeptes. Es wird die Sicherung des Passagiers, die Befestigung des Gurtsystems und der Gurtstraffer erklärt.

5.1 Sicherung des Passagiers

Um die Sicherung des Passagiers für das schultergestützte Gurtsystem zu gewährleisten, ist eine Anbindung mit dem bereits vorhandenen Beckengurt vorgesehen. Der Beckengurt, der durch Schlaufen am Gurtsystem geführt wird, wird normal verschlossen. Zur Unterstützung des Bauches ist ein leicht elastisches Material vorgesehen. Diese Unterstützung ist gepolstert, um dem Druck der Verschlussschnalle bestmöglich entgegenzuwirken.

5.2 Befestigung des Gurtsystems

Um das gesamte Gurtsystem zu befestigen, gibt es mehrere Möglichkeiten. Zum einen kann der Gurt direkt im Sitz integriert werden, dies führt jedoch zu einem Eingriff in die Fertigung, zum anderen ist eine Integration in die Struktur, wie es bei den Gurtsystemen der Crew der Fall ist, möglich. Dies ist jedoch mit großem Aufwand und daraus resultierenden Kosten verbunden.

Die dritte Möglichkeit ist die Befestigung in den bereits vorhandenen Sitzschienen. Der Vorteil bei dieser Methode ist eine schnelle Integration sowie keine zusätzlichen Veränderungen an der Struktur. Auch die Lastenaufnahme im Falle einer Notlandung wäre kein Problem.



Abbildung 27- Sitzschiene mit Einsatz (Ancra, 2019)

Die Sitzschienen in einem A320 halten einer Last von 2400 kg pro Inch statt. (Ancra, 2019) An ihnen sind unter anderem die Sitze der Passagiere, aber auch teilweise die Galley befestigt. Der Aufbau besteht aus einer Schiene, die in den Kabinenboden eingelassen ist. Der Aufbau einer solchen Sitzschiene ist in

Abbildung 27 zu sehen.

Ein Problem bei der Verwendung von Sitzschienen ist ihre Verortung in Y-Richtung im Flugzeug. In den meisten Passagierflugzeugen befinden sich die Sitzschienen bei einer 3er Sitzkombination unter den beiden inneren Sitzlehnen und nicht mittig unter einem Sitz. Dies ist in Abbildung 28 in einer A320 Kabine dargestellt.



Abbildung 28- Verortung der Sitzschienen (Walton, 2015)

Das Problem hierbei stellt der Winkel des Gurtes dar. Bei der Integration des Aufrollmechanismus direkt an der Sitzschiene würde die Gefahr bestehen, dass der Gurt zwischen die beiden Sitze rutschen könnte. Eine sichere Fixierung des Passagiers wäre nun nicht mehr gegeben.

Eine Lösung für dieses Problem wäre die Platzierung des Aufrollmechanismus in die Mitte des jeweiligen Sitzes. Hierfür wird eine Verbindung zwischen den Sitzschienen und dem Aufrollmechanismus benötigt. Diese Verbindung muss eine Leichtbauweise aufweisen, gleichzeitig aber auch die Hebelkräfte aufnehmen, welche bei einem 16g Test auftreten.

5.3 Integration eines Gurtstraffers für maximalen Halt

Um dem Passagier maximalen Halt im Rückhaltesystem zu geben, ist es notwendig einen geeigneten Gurtstraffer in das Konzept zu integrieren. Ein Blick in die Automobilindustrie zeigt, dass es verschiedene Bauarten von Gurtstraffern gibt. Eine Erläuterung der Systeme soll prüfen, welches für das Rückhaltesystem am besten geeignet ist. Dies ist im Folgenden aufgelistet:

Rotationsstraffer: Bei dieser Bauart werden bei einem Aufprall Stahlkugeln im Gurtstraffer beschleunigt. Durch die Bewegungsenergie, die die Kugeln auf ein Zahnrad abgeben, wird der Gurt weiter aufgerollt, dieser liegt dann straff am Passagier an. Die Beschleunigung der Stahlkugeln kann hierbei auf zwei Arten erfolgen. Zum einen durch eine pyrotechnische Treibladung und den daraus resultierenden Gasdruck. Nachteil bei dieser Art der Gurtstraffung ist, dass nach jedem Auslösen die Treibladung erneuert werden muss. Auch beim Ausbau gibt es, ähnlich wie bei Airbags, besondere Sicherheitsregeln bezüglich explosiver Stoffe, die es einzuhalten gilt. Eine weitere Möglichkeit ist die Verwendung von Federenergie. In diesem Fall ist eine Feder in Ruhelage gespannt, beim Aufprall entspannt sich die Feder in Sekundenbruchteilen und dient so als Energielieferant für die Kugeln. Auch bei diesem Konzept muss der Aufrollmechanismus nach jedem Auslösen neu gespannt werden. (Becker, 2005)

Reversible Gurtstraffer: Bei dieser zweiten, moderneren Bauart handelt es sich um einen Gurtstraffer, der neben der pyrotechnischen Treibladung noch einen elektrischen Antrieb verwendet, um den Gurt zu straffen. Auf Grund dessen ist es möglich den Gurt mehrfach zu verwenden. Das hat den Vorteil, dass der Gurt auch in Gefahrensituationen eingesetzt werden kann, ohne dass es tatsächlich zum Unfall kommt. Ein Beispiel hierfür wäre starkes Bremsen aufgrund eines plötzlich auftretenden Hindernisses auf der Fahrbahn (Wildwechsel). Auch bei diesem System müssen wegen der Treibladung besondere Sicherheitsvorschriften eingehalten werden. (Lucht, Borgward, & Baudinet, 2009)

Bei beiden Systemen geschieht die Auslösung über das Airbag Steuergerät, welches über die Sensorik Informationen über eine Kollision des Fahrzeuges erhält.

6. Konzeptauswahl

In diesem Abschnitt wird beschrieben, welche Teilkonzepte sich durchgesetzt haben. Dafür werden die zuvor analysierten Probleme einzeln behandelt und auf ihre Tauglichkeit bewertet. Eine detaillierte Erklärung der Funktionsweisen wird in Kapitel 7 behandelt.

6.1 Dimensionierung der Gurte im Kopfbereich

Bei diesem Punkt besteht die Auswahl zwischen einer Abzweigung der Gurte knapp unterhalb der Oberkante der Rückenlehne oder eines Distanzstückes, welches die Gurte auf das ausgewählte Maß in Position hält.

Entschieden wird sich in diesem Punkt für das Distanzstück, welches in Abbildung 29 dargestellt wurde. Es ist die praktikabelste Lösung die Gurte auch bei Turbulenzen und beim Bewegen des Passagiers in Position zu halten.

6.2 Fixierung an dem Beckengurt

Für die Auswahl eines geeigneten Systems zur Fixierung des Passagiers an dem Beckengurt wird zwischen dem Konzept mit zwei einzelnen Gurten und einem Gurt mit Verbindung unterschieden. Entschieden wird sich für den Gurt mit Verbindung. Der Vorteil in diesem Verbindungsstück liegt zum einen daran, dass die Gurte nicht unkontrolliert in die Breite rutschen können. Zum anderen dient es als Polsterung und Unterstützung des Bauches. Der Druck, der von der Gurtschnalle ausgeht, kann somit reduziert werden.

6.3 Anbindung an die Sitzschiene

Bei der Anbindung an die Sitzschienen wird sich für das Konzept, einen Verschluss zu nutzen, der bereits bei der Fixierung von Sitzreihen Verwendung findet, entschieden. Da die Kräfte, die ein einzelnes Schloss, aufnehmen können ausreichen.

6.4 Gurtstraffer

Zur Auswahl eines geeigneten Gurtstraffer stehen der Rotationsstraffer und der reversible Gurtstraffer zur Auswahl. Entschieden wird sich in diesem Fall für den Rotationsstraffer.

7. Konzeptvorstellung des detaillierten Designs

Dieses Kapitel behandelt die Vorstellung des ausgearbeiteten Designkonzepts aus Kapitel 6. Neben dem Auf- und Einbau werden auch die Verortung in der Kabine sowie die verwendeten Materialien erläutert. Ebenfalls werden mögliche Szenarien in Hinsicht auf den HIC Wert betrachtet. Abschluss des Kapitels bildet die Vorstellung des Designprototyps und die Darstellung dessen an einem Sitz mit einer realen Person.

7.1 Übersicht

Eine Gesamtübersicht des erarbeiteten Konzeptes Gurtsystems ist in den Abbildungen 29 und 3 zeichnerisch zu sehen. Darstellung 29 zeigt eine schwangere Person mit angelegtem Gurtsystem. Das gewählte Perzentil in dieser Zeichnung beträgt 50%. Die Abbildung ohne Kopfstütze dient zur besseren Darstellung des Konzeptes.

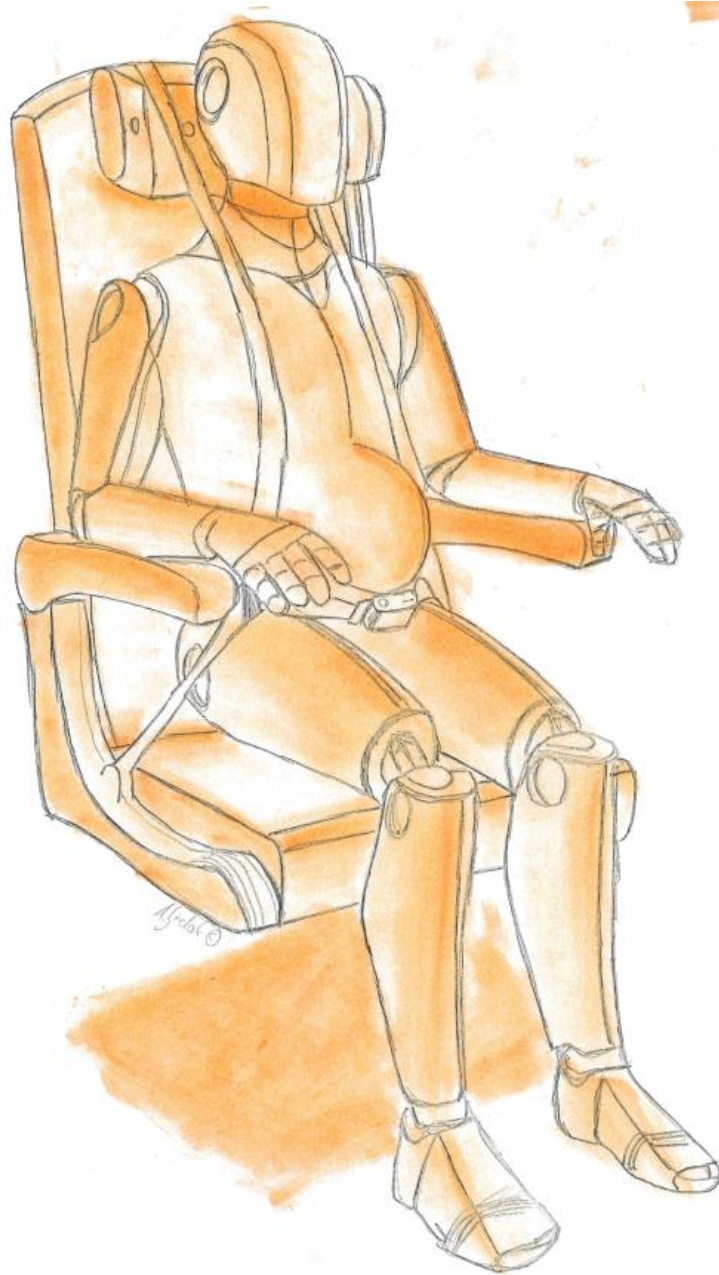


Abbildung 29- Test-Dummy mit dem neuen Gurtsystem

Die Darstellung 30 zeigt die Rückseite des Gurtsystems und deren schematische Anbindung an die Sitzschienen. Zur besseren Darstellung sind in diesem Fall auch der Sitz sowie der Passagier abgebildet.



Abbildung 30- Anbindung des Gurtes an die Sitzschiene

7.2 Aufbau

Das gesamte Rückhaltekonzept besteht im Allgemeinen aus drei Komponenten. Zum einen aus dem Gurtsystem. Zum anderen aus der Anbindung an die Sitzschienen sowie der dazugehörige Aufrollmechanismus. Diese beiden Teile sind in einem Verbindungsstück untergebracht. In der zeichnerischen Darstellung 31 ist das gesamte Konzept abgebildet.



Abbildung 31- Gesamtübersicht des Konzeptes

7.3 Gurtsystem

Die Abbildung 32 zeigt die Vorderseite des Gurtsystems, welche unter dem Bauch der Schwangeren positioniert wird und die Anbindung des Konzeptes an den Beckengurt darstellt. Breite der Gurte wurde auf 24,6cm festgelegt.

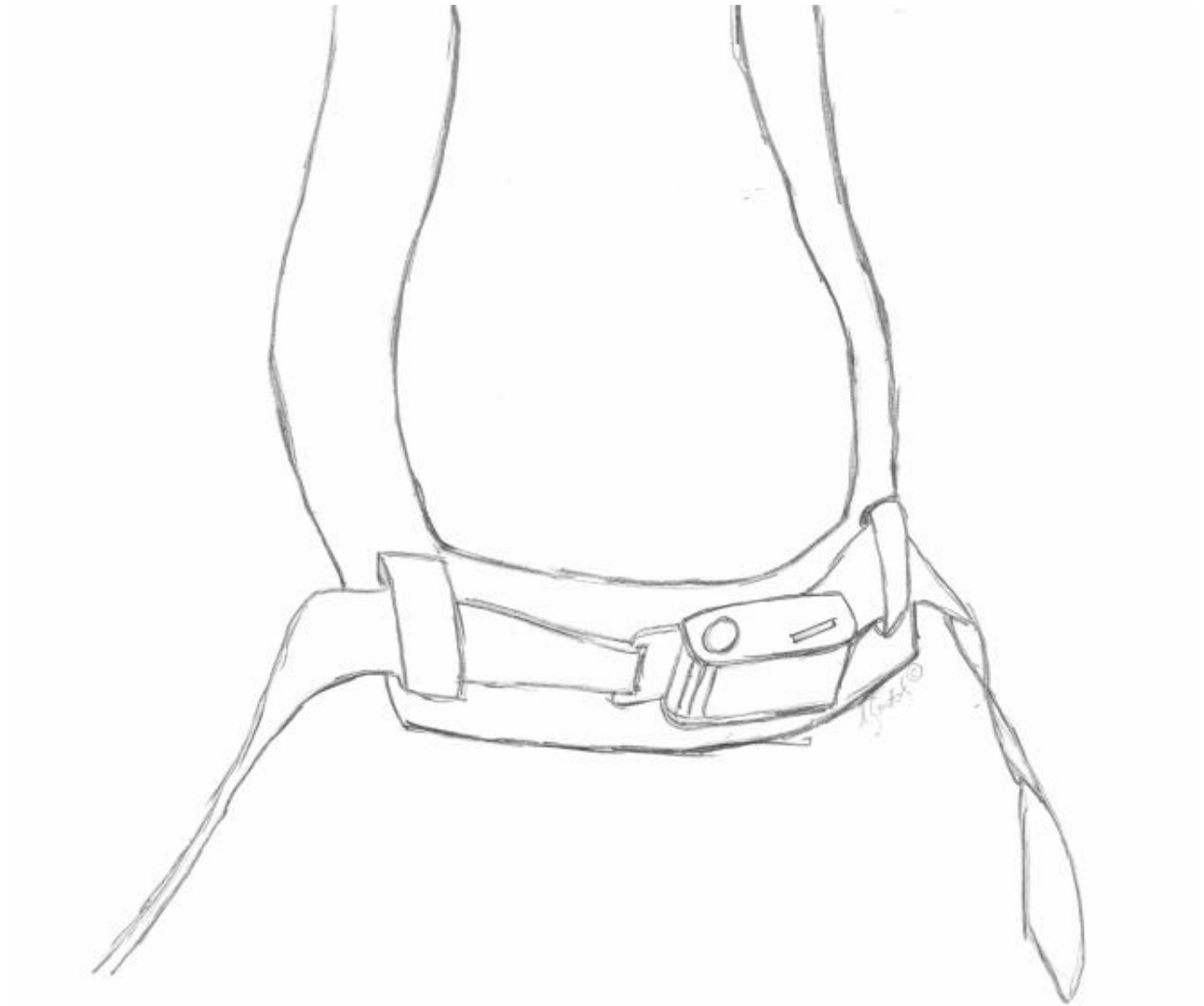


Abbildung 32- Bauchunterstützung

Um den Abstand der Gurte im Kopfbereich einzuhalten und individuell einzustellen, ist ein Distanzstück nötig, das am Gurtsystem angebracht wird und sich auf der Rückseite der Sitzlehne befindet. Dieses Distanzstück ist in Abbildung 33 dargestellt. Es weist die Länge von 30cm auf und ist direkt über den Punkt platziert, an dem sich die beiden Einzelgurte zu einem Gurt verbinden.

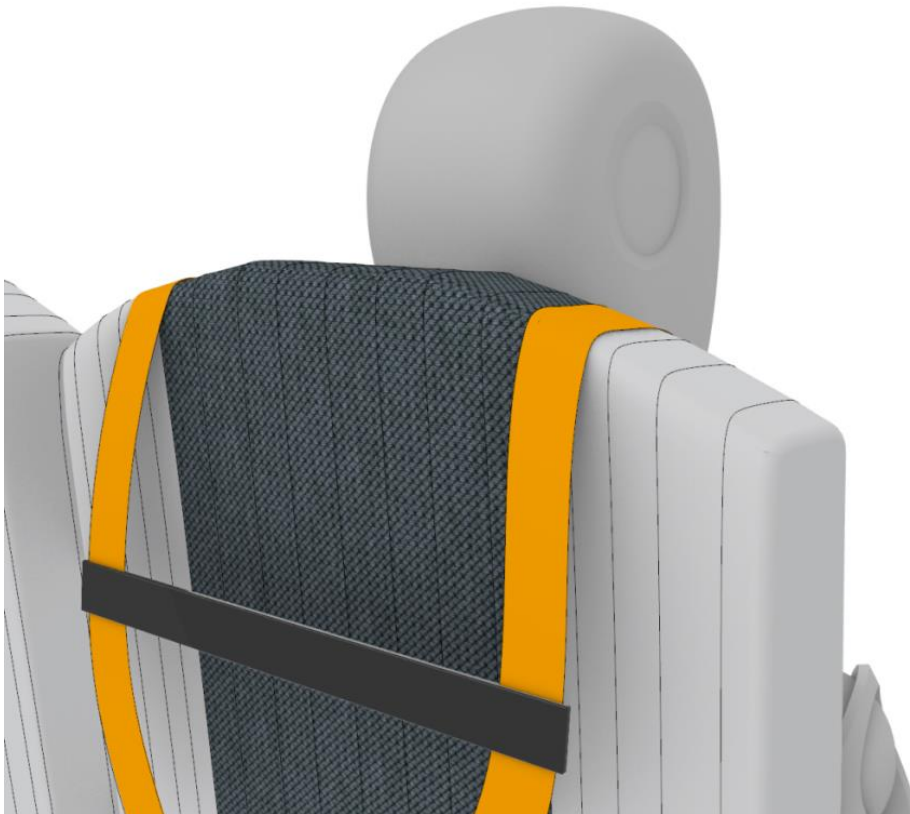


Abbildung 33- Distanzstück des Gurtsystems

Die beiden orangenen Seitengurte werden über die Schulter des Passagiers gelegt, sodass der Kopf in der Mitte Platz findet. Das Material besteht aus 100 % Polyester und wurde nach DIN EN 12195-2 gefertigt. (Beuth, 2019) Dasselbe Material wurde auch für die beiden Schlaufen verwendet, durch die der Beckengurt geführt wird.

Das Verbindungstück zwischen diesen beiden Gurten besteht aus einem Elastomer und Polyethangemisch. Dies in Kombination mit einer erhöhten Breite wirkt komforterhöhend, da nun der Druck des Beckenverschlusses nicht mehr direkt auf den Bauch der schwangeren Person drückt, sondern besser verteilt wird.

7.4 Sitzschienenanbindung

Betrachtet wird zunächst die Sitzschienenanbindung. Um einen schnellen Ein- und Ausbau des Rückhaltesystems zu verwirklichen, wurde sich für eine Anbindung entschieden, die mit einem Klappmechanismus befestigt werden kann. Anders als bei der Befestigung der Sitze selbst, benötigt man in diesem Fall keine Werkzeuge. Einen solchen Klappverschluss für Sitzschienen der Firma *Ancra International* ist in Abbildung 34 dargestellt.

Dieses Schloss besteht aus einer Zink- Nickellegierung und hat ein Gesamtgewicht von knapp 0,8kg. Es kann Kräfte in X-Richtung von bis zu 12280 lb aufnehmen. (Ancra, 2019)

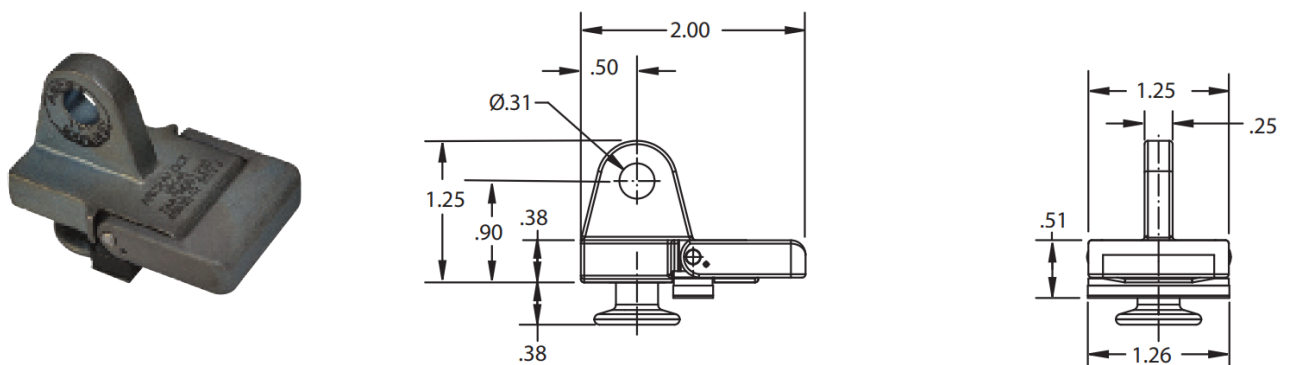


Abbildung 34- Verschluss für Sitzschiene (Ancra, 2019)

7.5 Gurtstraffer

Bei der Auswahl des geeigneten Gurtstraffers wurde sich für ein Rotationsstraffer mit einer Feder als Auslösemechanismus entschieden. Diese Auswahl lässt sich durch die folgenden Eigenschaften begründen: Zum einen ist bei einem federgestützten System das Gewicht geringer als bei einem mit pyrotechnischer Treibladung, zum anderen würde eine solche Bauart unter die *Dangerous Goods Regulations* (DGR) der IATA fallen. (IATA, 2019) Die DGR sind die Gefahrgutvorschriften, die den Transport von solchen Stoffen in der Luftfahrt regeln.

7.6 Verbindungselement

Das Verbindungselement dient dazu, die Sitzschienenanbindung und den Gurtstraffer zu beherbergen. Es muss den Gurtstraffer so ausrichten, dass sich dieser in der Mitte des Sitzes befindet, um somit eine sichere Anbindung zu gewährleisten. Die Länge von der Sitzschiene aus gesehen muss in diesem Fall 30cm betragen.

Im Falle eines Crashes muss das Verbindungselement an dieser Stelle die größten Kräfte aushalten, dies resultiert aus der Hebelwirkung, die zwischen der Anbindung der Sitzschienen und der Position des Gurtstraffers entsteht. Da es sich bei dieser Arbeit um die Entwicklung eines Designkonzeptes handelt, liegt an dieser Stelle keine exakte Dimensionierung dieses Verbindungselementes vor. Eine Untersuchung unter der Verwendung von CAD und FEM Analysen, könnte Teil einer weiterführenden Ausarbeitung dieses Konzeptes in der Zukunft sein. Eine vereinfachte Darstellung ist in Darstellung 35 zu sehen.

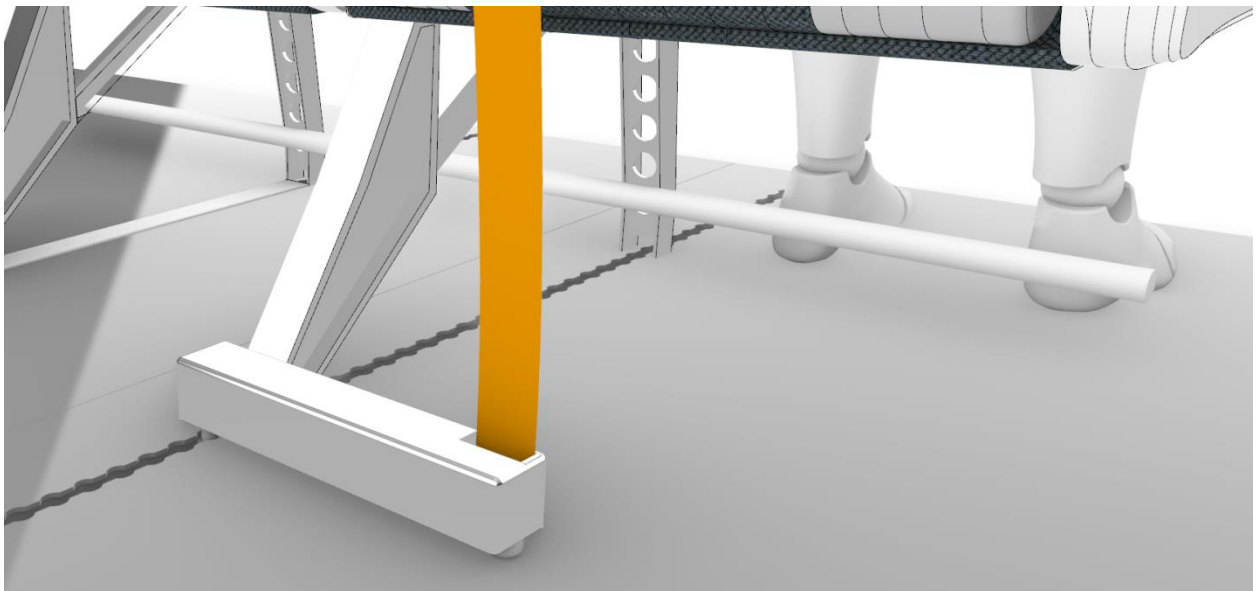


Abbildung 35- Verbindungselement

7.7 Ein- und Ausbau des Rückhaltesystems

Der Einbau des Rückhaltesystems kann von nur einem Techniker in wenigen Minuten durchgeführt werden. Dafür wird die Verbindungskomponente zur Sitzschiene einfach direkt hinter der Sitzanbindung in die Schiene eingesetzt und mit einem Klappverschluss gesichert. Anschließend wird das Gurtsystem über die Rückenlehne auf den verwendeten Sitz gelegt.

Dieses Prozedere rückwärts beschreibt den Ausbau des Rückhaltesystems. Spezialwerkzeug oder Ähnliches ist nicht notwendig.

7.8 Anwendung

Der Gebrauch des Rückhaltesystems gestaltet sich ähnlich einfach wie der Ein- und Ausbau. Die schwangere Frau nimmt auf ihrem Sitz Platz und führt das Gurtsystem über ihren Kopf. Anschließend richtet sie das gepolsterte Mittelstück des Gurtes so unter ihrem Bauch aus, dass es von alleine Halt findet.

Nun führt sie, wie in Abbildung 36 dargestellt, die beiden Komponenten des Beckengurtes durch die Schlaufen am Gurtsystem und verschließt den Gurt wie bei dem üblichen Gebrauch und zieht diesen leicht straff. Um den Gurt zu lösen wird die Schnalle des Beckengurtes geöffnet und durch die Schlaufen geführt. Nun kann das Gurtsystem wieder über den Kopf geführt werden und der Passagier kann sich normal von seinem Sitz entfernen.

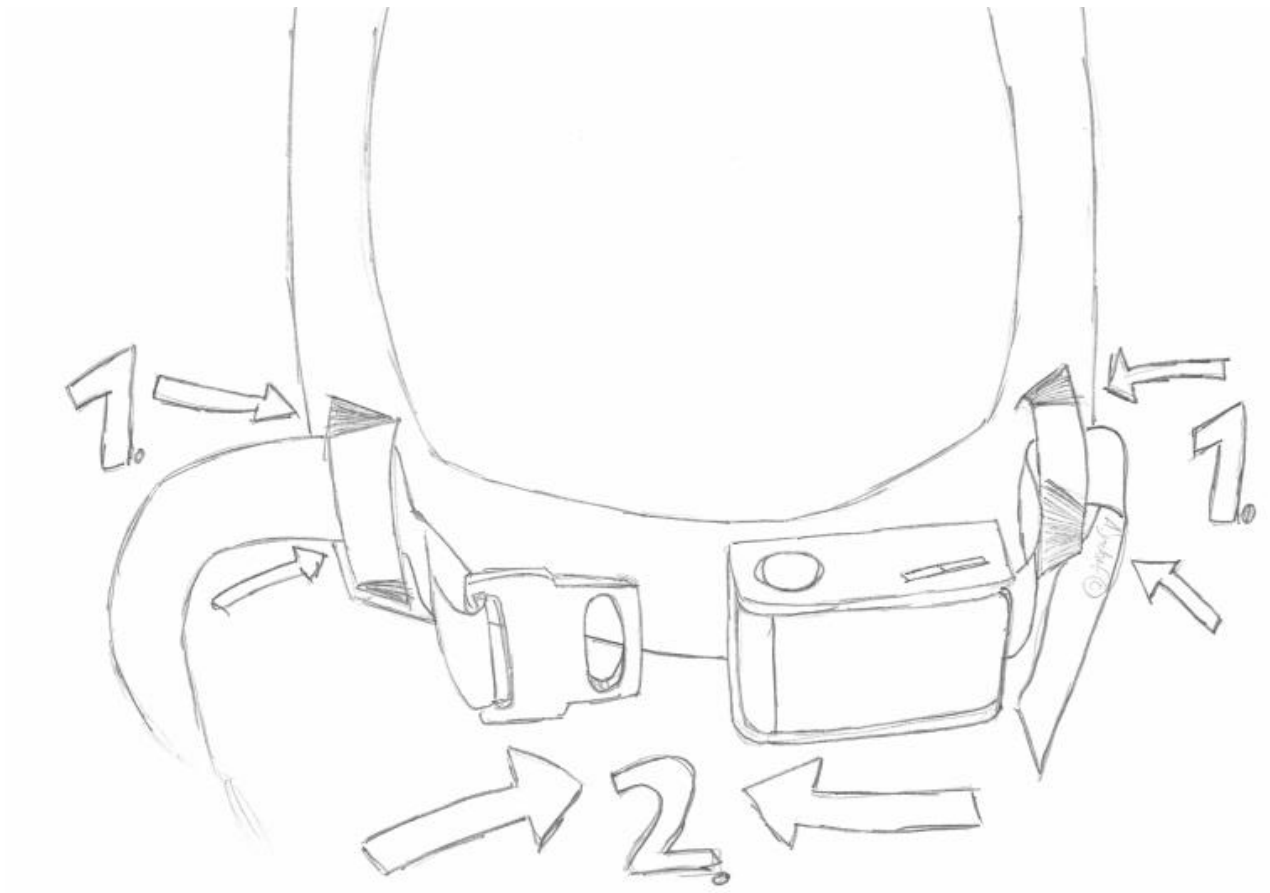


Abbildung 36- Beschreibung der Anwendung

7.9 Verortung

Für die Verortung des Rückhaltesystems sind in der gewählten A320-200 Kabine zwei Positionen vorgesehen. Zum einen wurde ein Szenario in der letzten Sitzreihe entwickelt. Der Vorteil hier liegt darin, dass alle Sitze der Reihe benutzt werden können. Zwischen der letzten Reihe und dem Lavatory Monument befindet sich nur das sogenannte Doghouse. Dies ist ein Stauschrank zum Aufbewahren diverser Kleinteile. Dieses Doghouse steht ausnahmslos der Crew zu Verfügung. Eine extra Nutzung für Utensilien der Passagiere ist nicht vorgesehen.

Die zweite Möglichkeit der Installation des Rückhaltesystems ist der mittlere Sitz in einer der ersten Reihen. Dies ist jedoch nur möglich, wenn der jeweils mittlere Sitz der dahinterliegenden Sitzreihe gesperrt ist.

Eine Sperrung des mittleren Sitzes ist bei diesem Flugzeugmuster typisch, wenn die gewählte Reihe als Business-Class, beziehungsweise als Premium-Economy-Class ausgezeichnet ist. Eine solche Sperrung des mittleren Sitzplatzes hat den Effekt, dass nun die beiden äußeren Passagiere mehr Platz in der Breite haben. Die Beinfreiheit bleibt jedoch gleich.

Eine Nutzung des Rückhaltesystems auf einem Sitzplatz, welcher einen direkten Hintermann aufweist ist nicht vorgesehen. Rein theoretisch wäre dies möglich, jedoch würde es zu starken Einschränkungen des direkt dahinter sitzenden Passagiers kommen (keine Nutzung des Klapptisches mehr möglich). Zum anderen wäre die Beinfreiheit des Passagiers durch das Gurtsystem wohl so eingeschränkt, dass es einen negativen Einfluss auf den Komfort haben würde.

8. Analyse des detaillierten Gurtdesigns

In diesem Abschnitt werden zwei HIC Szenarien betrachtet, für den Fall eines Crashes. Für eine exakte Berechnung des HIC Wertes bei der Nutzung des Rückhaltesystems, wäre jedoch eine Testreihe mit Dummies unter der Verwendung von Beschleunigungssensoren unausweichlich. Deshalb sind Berechnungen nicht Teil dieser Arbeit, es wird aber das Prinzip erklärt.

8.1 HIC Szenarien

Für die beiden in der Kabine gewählten Positionen wurden jeweils ein HIC Szenario analysiert. Dafür werden die Abbildungen 37 und 38 auf eine CAD Darstellung des gewählten Passagiersitzes gelegt. Der HIC ist das sogenannte Head Injury Criterion. *Für alle Tests ist der Grenzwert des Head Injury Criterion auf 1000 festgelegt. Ein Vergleich mit realen Verletzungen hat gezeigt, dass bei diesem Grenzwert eine nach AIS-Stufe 3 (Abbreviated Injury Scale) einzuordnende Verletzung mit einer Wahrscheinlichkeit von 0,5 (50 %) auftritt. Eine Verletzung nach AIS-Stufe 3 bedeutet eine ernste Verletzung, zum Beispiel eine Gehirnerschütterung mit einer Bewusstlosigkeit von unter 1 Stunde oder der Verlust eines Auges. Liegt das HIC bei 800, beträgt die Wahrscheinlichkeit weniger schwer verletzt zu werden 0,9. Ein HIC von 1300 heißt umgekehrt, dass in 55 % der Fälle eine noch schwerwiegendere Verletzung auftritt.*

Es lässt sich über das Integral (1) folgendermaßen ermitteln.

$$HIC = \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a(t) dt \right]^{2,5} (t_2 - t_1) \quad (1)$$

mit:

: Beginn des betrachteten Zeitintervalls

Ende des betrachteten Zeitintervalls

: Resultierende Kopfbeschleunigung

: Erdbeschleunigung

: Ableitung über den Faktor Zeit

Die erste Stelle, die untersucht wurde, ist die erste Sitzreihe ganz vorne in der Kabine. Dieser Platz wurde gewählt, da diese Sitzreihe aufgrund der Erhöhen Beinfreiheit bei Passagieren mit Kindern sehr beliebt ist. Hier beträgt der Abstand zum Monument 45,7cm

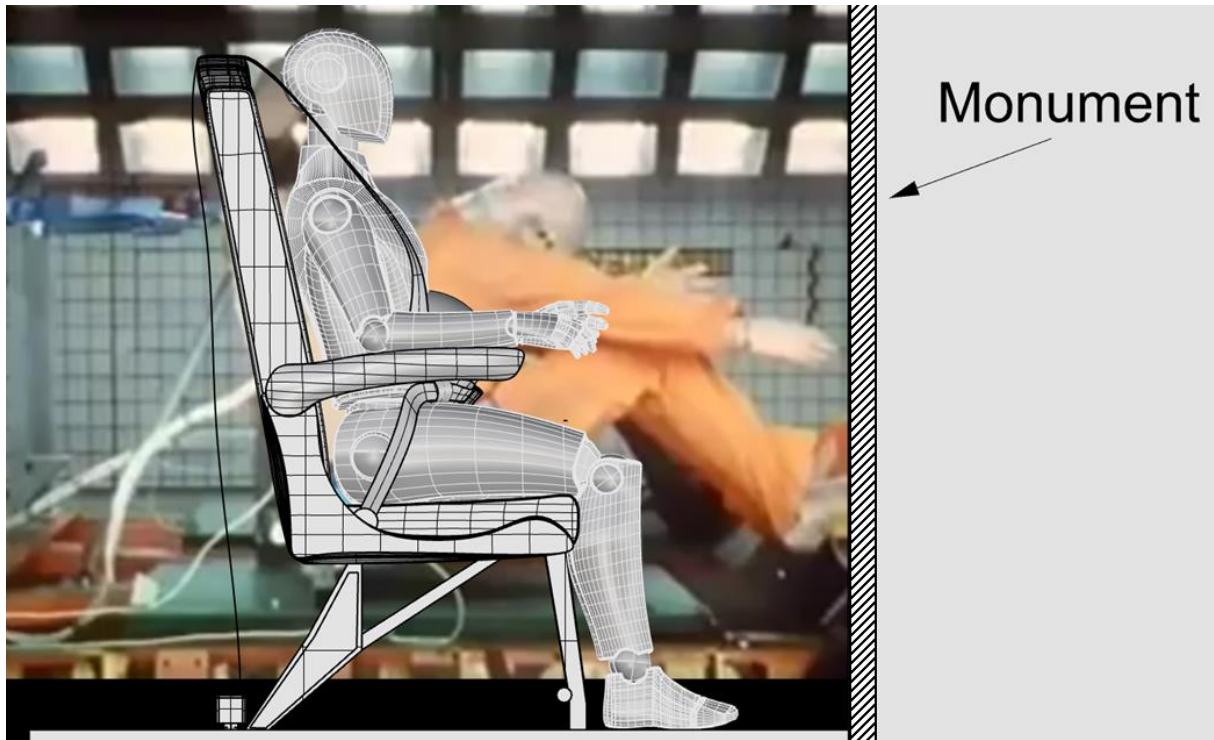


Abbildung 37- HIC Analyse am Monument

Man sieht zwar einen Kontakt der Füße mit dem davonliegenden Monument, jedoch ist die kritische Kopf- und Nackenregion nicht betroffen.

Als zweite Position wurde die letzte Reihe ausgewählt. Der Abstand zum Sitz davor beträgt 37 cm und ist damit der geringste im gewählten Layout des A320-200.

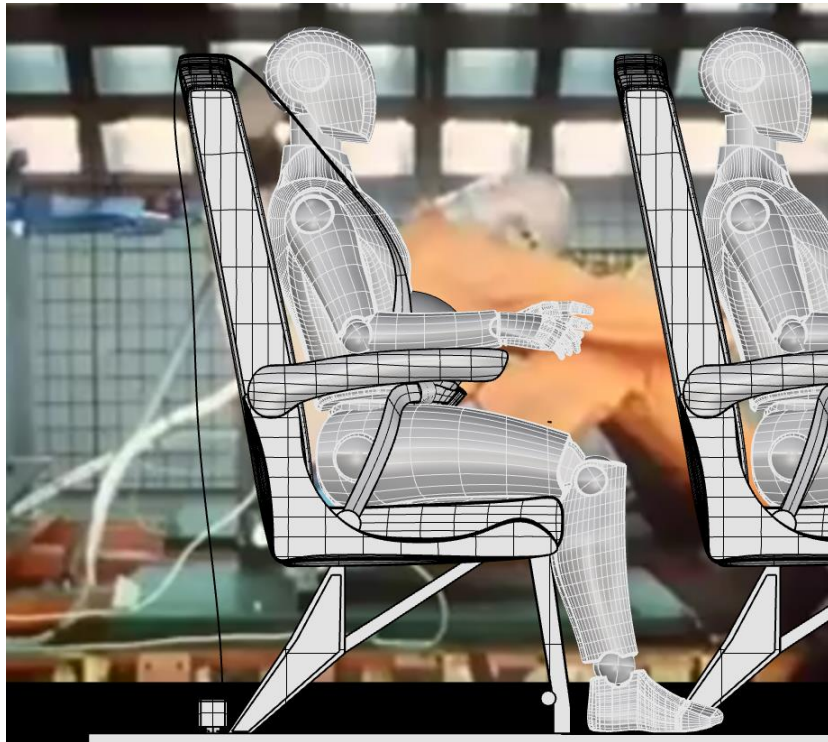


Abbildung 38- HIC Analyse am Vordersitz

Darstellung 34 zeigt das Aufprallverhalten bei 16g. Anders als in Abbildung 35 sieht man einen sehr deutlichen Kontakt zwischen den Beinen und dem Sitz des Vordermanns.

Jedoch ist auch in diesem Szenario der Kopf ausreichend weit von einem Einschlag auf den vorderen Sitz entfernt.

9. Teststandversuche

Für die Realversuche wurde ein Designprototyp unter Anwendung der zuvor erarbeiteten Ergebnisse gebaut und an einer Testperson ausprobiert. Bei der Testperson handelt es sich um eine 20-jährige Frau mitteleuropäischer Herkunft mit einer Körpergröße von 170cm. Dies entspricht dem 90. Perzentil dieser Personengruppe. Zur Simulation der Schwangerschaft wird ein künstlicher Bauch verwendet. Dieser entspricht der 30. Schwangerschaftswoche. Der Test fand im Fahrzeuglabor der Hochschule für Angewandte Wissenschaften am Berliner Tor 5 in der Freien- und Hansestadt Hamburg statt.

Es wurden folgende Punkte untersucht:

- Stimmigkeit der Dimensionierung
- Annahme der Sitzsperrung
- Darstellung vom normalen Verhalten eines Passagiers während des Fluges
- Funktionsweise
- Akzeptanz der Testperson

9.1 Stimmigkeit der Dimensionierung

Um die Stimmigkeit der Dimensionierung nachzuweisen, wird der Abstand der Gurte im Kopfbereich und Winkel der Gurte im direkten Sichtbereich an der Testperson analysiert. Der Abstand der Gurte im Kopfbereich wird eingehalten, wenn auch knapp. Der Sichtbereich wird ebenfalls nicht beeinflusst. Dies liegt daran dass, es nur bei einer kleinen Person mit einer sehr großen Brusttiefe zu Einschränkungen kommen kann. Aufgrund der Körpergröße der Person, wurden beide Ergebnisse erwartet. Eine Darstellung der Testperson mit angelegtem Gurt ist in Abbildung 39 zu sehen.



Abbildung 39- Testperson mit angelegtem Gurt

9.2 Annahme der Sitzsperrung

Dieser Abschnitt widmet sich der Klärung ob es nötig ist, den Sitz direkt hinter dem Platz mit dem installierten Gurtsystem zu sperren. Abbildung 40 zeigt deutlich dass es zu einer massiven Einschränkung des IFE kommt, wenn der Platz nicht gesperrt werden würde. Der Gurt verdeckt

deutlich den Bildschirm sowie das Aufbewahrungsnetz, was eine Nutzung für beides unmöglich macht. Eine Nutzung des Essentablettes ist theoretisch aber noch möglich.



Abbildung 40- Designprototyp von hinten

9.3 Darstellung vom normalen Verhalten eines Passagiers während des Fluges

Um die normalen Aktionen eines Passagiers während eines Fluges zu simulieren, werden zwei Situationen betrachtet. Zum einen die Benutzung des Essenstablettes am Sitz des Vordermannes und zum anderen das Greifen in das Netz, welches zum Aufbewahren persönlicher Gegenstände genutzt werden kann, ebenfalls am Sitz des Vordermannes. Da es auf dem verwendeten Teststand keine zweite Sitzreihe gibt, werden die beiden Situationen von der Testperson nachgespielt und über ein zweites Bild, welches unter der Anwendung von CAD entstanden ist, gelegt. In Abbildung 41 ist das Szenario der Benutzung des Essenstablettes dargestellt und in Bild 42 das des Greifens ans Aufbewahrungsnetz.



Abbildung 41- Simulation der Tablettnutzung



Abbildung 42- Simulation des Greifens an die Netztasche

Beide Szenarien zeigen, dass es zu keiner Einschränkung in der Bewegungsfreiheit oder zu übermäßigem Druck im Bauchbereich kommt.

9.4 Funktionsweise

In diesem Punkt wird die Funktionsweise des Gurtes nachempfunden. Es zeigt sich, dass die Testperson auch ohne Anweisungen das Gurtsystem intuitiv anlegen konnte. Selbst bei starker Bewegung verrutschte der Gurt am Bauch der Testperson nicht. Das Gurtsystem verbunden mit dem Beckengurt ist in Darstellung 43 und 44 abgebildet. Auf dem mittleren Sitz befindet sich ein Test-Dummy, welcher über einen normalen Beckengurt gesichert ist.



Abbildung 43- Vergleich mit einem herkömmlichen Beckengurt



Abbildung 44- Nahaufnahme der Bauchunterstützung

9.5 Akzeptanz der Testperson

Die Akzeptanz der Testperson wird als positiv empfunden. Sie beklagt keinerlei Einschränkungen oder Unannehmlichkeiten, die durch den Gurt ausgelöst werden können. Es wird ein deutlich verminderter Druck auf den Bauch wahrgenommen, auch beim starken nach vorne Kippen. Ebenfalls ist es problemlos möglich, sich mit seinem Sitznachbar zu unterhalten, ohne dass der Gurt dies beeinflusst hat.

10. Limitierung

Das Konzept lässt sich beliebig auf andere Flugzeugmuster übertragen, solange die Befestigung über Sitzschienen erfolgt und diese auch zugänglich sind. Bei den meisten Business-Class und First-Class Sitzen sind die jedoch aufgrund der komplexeren Bauweise der Sitze nicht mehr so einfach zugänglich wie in der Economy-Class. Auch bei einem untypischen Kabinenlayouts wie zum Beispiel bei der *Suchoi Superjet 100* (Fünf Plätze in einer Reihe anstatt Sechs) der russischen Firma *Suchoi Civil Aircraft* kann dieses Konzept eingesetzt werden. Es gilt auch hier nur zu beachten, dass der Platz, der sich direkt hinter dem Sitz welcher ein Rückhaltesystem aufweist befindet, gesperrt wird.

Für eine Abschätzung der Limitierung für das maximale Gewicht des zu sichernden Passagiers, müsste eine detaillierte FEM Analyse des Verbindungstückes vorgenommen werden.

11. Diskussion

Die Ergebnisse der Designanalyse zeigen, dass eine Steigerung der Passagiersicherheit durch das in dieser Arbeit entwickelte Design signifikant gesteigert werden kann. Die Anforderungen der Flugbegleiter an ein sicheres, mobiles Gurtsystem und an einen Crashtest werden erfüllt. Zudem werden alle relevanten Anforderungen für eine Luftfahrtzertifizierung erfüllt.

Diese Arbeit beschränkt sich ausschließlich auf die Erarbeitung eines Designkonzeptes. Eine Schätzung der Kosten pro Einheit war nicht Bestandteil der Arbeit gewesen, ist aber Bestandteil weiterer Arbeiten, sobald eine detaillierte Dimensionierung des Verbindungsstückes, das den Gurtstraffer und die Verbindung an die Sitzschienen beherbergt, vorliegt. Detaillierte Analysen der Materialien, von FEM- Modellen sowie von Crashtests mit Dummys unter der Verwendung von Beschleunigungssensoren sind ebenfalls weitere geplante Forschungsarbeiten.

Der Vorteil dieses Konzeptes ist die schnelle Integration, an den jeweiligen Sitz ohne Spezialwerkzeuge. Auch die Verwendungsmöglichkeiten für die einzelnen Passagiergruppen sind enorm. Die Sicherung von schwangeren Frauen, über Personen mit eingeschränkter Mobilität bis hin zu den ABP, die in einem Notfall die Besatzung unterstützen sollen, zeigt wie vielfältig nutzbar das Konzept ist.

Eine Weiterentwicklung dieses Konzeptes mit dem Ziel, den Sitz hinter dem Gurtsystem nicht sperren zu müssen, hätte große Chancen den Weg in den Flugbetrieb zu finden.

Literaturverzeichnis

- Aerosavvy. (19. Juli 2017). <https://aerosavvy.com>. Von <https://aerosavvy.com/airline-seatbelts/?shared=email&msg=fail> abgerufen. Besucht am 17.09.2019
- Agarwal, V. (30. April 2019). <https://www.bangaloreaviation.com>. Von <https://www.bangaloreaviation.com/2019/04/etihad-cuts-seat-back-ife-screens-and-revises-economy-meals.html> abgerufen. Besucht am 22.09.2019
- Airbus. (2019). <https://www.airbus.com>. Von <https://www.airbus.com/aircraft/market/orders-deliveries.html/> abgerufen. Besucht am 02.09.2019
- Ancra. (2019). <http://www.ancra.com>. Von <http://www.ancra.com/aircraft/track.html> abgerufen. Besucht am 01.10.2019
- Becker. (17. November 2005). <http://www.patent-de.com>. Von <http://www.patent-de.com/20060316/DE202005017941U1.html> abgerufen. Besucht am 29.09.2019
- Bergmann, H. (2019). <https://deacademic.com>. Von <https://deacademic.com/dic.nsf/dewiki/1285030> abgerufen. Besucht am 17.08.2019
- Beuth. (2019). <https://www.beuth.de>. Von <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-12195-2/33632163> abgerufen. Besucht am 16.10.2019
- Breadley, C. (28. August 2012). <https://www.flyingwithababy.com>. Von <https://www.flyingwithababy.com/car-seats-child-restraint-devices-crd-on-an-airplane/> abgerufen. Besucht am 11.09.2019
- Broderick, S. (November 2017). <https://www.ainonline.com>. Von <https://www.ainonline.com/aviation-news/air-transport/2017-11-09/utas-finding-buyers-expanded-attendant-seat-line> abgerufen. Besucht am 11.09.2019
- DLR. (2019). <https://www.dlr.de>. Von https://www.dlr.de/dlr/Portaldata/1/Resources/documents/2016/DLR_Luftfahrtforschung_Leitkonzepte_und_Perspektiven.pdf abgerufen. Besucht am 15.10.2019
- Dr. Jansc , A. (2014). Von <http://slideplayer.org>: <http://slideplayer.org/slide/864771/> abgerufen. Besucht am 15.10.2019
- Dreyfuss. (1959). *The Measure of Man*.
- dtc-ag. (2019). <https://www.dtc-ag.ch>. Von <https://www.dtc-ag.ch/dienstleistungen/passive-sicherheit/schlittenversuch/sitz> abgerufen
- EASA. (15. Juli 2019). <https://www.easa.europa.eu>. Von <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/CS-25%20Amendment%2023.pdf> abgerufen. Besucht am 12.08.2019

- Ergotyping. (2019). <https://www.ergotyping.de>. Von https://www.ergotyping.de/index.php?title=Anthropometrie:_Ordnungsschema_Koerpermasze_und_Koerpermaszverteilung abgerufen. Besucht am 12.08.2019
- FAA. (Mai 2004). <https://www.faa.gov>. Von <https://www.faa.gov/pilots/safety/pilotsafetybrochures/media/seatbelts.pdf> abgerufen. Besucht am 01.10.2019
- IATA. (2019). <https://www.iata.org>. Von <https://www.iata.org/whatwedo/cargo/dgr/Pages/index.aspx> abgerufen. Besucht am 02.10.2019
- Ikonen, J. (November 2015). <https://grabcad.com>. Von <https://grabcad.com/library/jarde-dummy-1> abgerufen. Besucht am 07.09.2019
- KidsFlySafe. (2012). <http://kidsflysafe.com>. Von <http://kidsflysafe.com/cares-overview/> abgerufen. Besucht am 20.08.2019
- Lucht, A., Borgward, M., & Baudinet, S. (31. August 2009). <http://www.sumobrain.com>. Von <http://www.sumobrain.com/patents/wipo/Reversible-seat-belt-tensioner/WO2010031496.html> abgerufen. Besucht am 17.09.2019
- Lufthansa. (2019). <https://magazin.lufthansa.com>. Von <https://magazin.lufthansa.com/xx/de/flotte/airbus-a320-200/sitzplan-airbus-a320-200/> abgerufen. Besucht am 30.09.2019
- Manuell, R. (31. Januar 2017). <https://www.internationalairportreview.com>. Von <https://www.internationalairportreview.com/article/31099/focus-prms-passengers-restricted-mobility-rights/> abgerufen. Besucht am 09.10.2019
- NASA. (2019). <https://msis.jsc.nasa.gov>. Von <https://msis.jsc.nasa.gov/sections/section03.htm> abgerufen. Besucht am 23.09.2019
- NHTSA. (2019). <https://www.nhtsa.gov/>. Von <https://www.nhtsa.gov/> abgerufen. Besucht am 29.08.2019
- Prof. Dr. Gleine, W. (2019). Vorlesungsunterlagen.
- Romano, E. (4. Juli 2017). <https://www.dmarge.com>. Von <https://www.dmarge.com/2017/07/etihad-neighbour-free-seat.html> abgerufen. Besucht am 01.10.2019
- Schaich, S., & Lau, M. (1999). <https://patents.google.com/patent>. Von <https://patents.google.com/patent/US6460806> abgerufen. Besucht am 23.09.2019
- Snyder G., R. (Dezember 1968). <http://www.faa.gov>. Von <http://www.faa.gov/library/reports/medical/oamtechreports/1960s/media/AM68-24.pdf> abgerufen. Besucht am 12.10.2019

- Statista. (Juli 2019). <https://de.statista.com>. Von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/505217/umfrage/preisentwicklung-kerosin-in-deutschland-monatlich/> abgerufen. Besucht am 14.09.2019
- Theflyingengineer. (30. Mai 2010). <https://theflyingengineer.blogspot.com>. Von <https://theflyingengineer.blogspot.com/2010/05/airbus-a320-family-vs-boeing-737-family.html> abgerufen. Besucht am 12.09.2019
- themarketresearchnews. (2019). <https://themarketresearchnews.com>. Von <https://themarketresearchnews.com/2019/04/22/aircraft-seat-materials-market-2019-recaro-aircraft-seating-haeco-b-e-aerospace-zim-flugsitz-thales-group/> abgerufen. Besucht am 10.20.2019
- Walton, J. (11. September 2015). <https://airwaysmag.com>. Von <https://airwaysmag.com/industry/exploring-lufthansa-technical-trainings-new-737-500-maintenance-trainer/> abgerufen. Besucht am 10.10.2019
- Wessel, R. (4. Februar 2018). <https://www.quora.com>. Von <https://www.quora.com/In-economy-which-has-the-most-legroom-the-Airbus-A350-900-the-Boeing-777-200-or-the-777-300> abgerufen. Besucht am 03.08.2019
- Wikipedia. (September 2019). <https://de.wikipedia.org>. Von https://de.wikipedia.org/wiki/Head_Injury_Criterion abgerufen. Besucht am 14.08.2019
- Wikipedia. (2019). <https://de.wikipedia.org>. Von <https://de.wikipedia.org/wiki/Dimensionierung> abgerufen. Besucht am 14.08.2019